



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Landsdekkend beeld van PFAS in Nederlands grondwater

RIVM-briefrapport 2021-0205
A. Wintersen et al.



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Landsdekkend beeld van PFAS in Nederlands grondwater

RIVM-briefrapport 2021-0205
A. Wintersen et al.

Colofon

© RIVM 2021

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

Het RIVM hecht veel waarde aan toegankelijkheid van haar producten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om dit document volledig toegankelijk aan te bieden. Als een onderdeel niet toegankelijk is, wordt dit vermeld. Zie ook www.rivm.nl/toegankelijkheid.

DOI 10.21945/RIVM-2021-0205

A. Wintersen (auteur), RIVM
J. Claessens (auteur), RIVM
M. Wit (auteur), RIVM
K. van Helvoort (auteur), RIVM
M. Wolters (auteur), RIVM
B. Stoffelsen (auteur), RIVM
H. van Wijnen (auteur), RIVM
P. van Breemen (auteur), RIVM

Contact:

Arjen Wintersen
Duurzaamheid, Drinkwater en Bodem
arjen.wintersen@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) in het kader van opdracht M/270060 'PFAS in grondwater'

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Landsdekkend beeld van PFAS in Nederlands grondwater

PFAS (per- en polyfluoralkylstoffen) is een groep stoffen die door mensen zijn gemaakt. Bij de productie en het gebruik van producten waar PFAS in zitten kunnen deze stoffen in het milieu terecht komen. Uit onderzoek van het RIVM blijkt dat PFAS overal in Nederland in het grondwater kunnen zitten.

Het gaat meestal om lage concentraties. De hoogste concentraties PFAS zijn gevonden in het grondwater dat net onder het bodemoppervlak zit, direct onder het maaiveld. Maar ook in dieper en ouder grondwater zijn PFAS gemeten. Het gaat dan vooral om PFAS die niet snel aan deeltjes in de bodem vast gaan zitten. Daardoor kunnen zij gemakkelijk met het grondwater meestromen en zich verspreiden.

Uit eerder onderzoek van het RIVM bleek al dat PFAS overal in de bodem zitten. De metingen voor het onderzoek naar grondwater zijn voor een deel op dezelfde locaties gedaan als het bodemonderzoek. Het RIVM heeft daardoor kunnen onderzoeken of er een verband is tussen concentraties in de bodem en in het grondwater. Dat verband is niet gevonden. Het RIVM vermoedt dat bij de lage concentraties in het grondwater verschillende factoren invloed hebben op de verhouding tussen PFAS in bodem en grondwater. Bijvoorbeeld de hoeveelheid regen en de stroomsnelheid van het grondwater.

In andere onderzoeken is dit verband wel aangetoond. Volgens het RIVM gaat het dan om plekken waar lokaal hoge concentraties PFAS in het grondwater zaten, bijvoorbeeld nadat een brand met blusschuim is geblust. Blusschuim bevat PFAS.

Kernwoorden: PFAS, grondwater, stoffen, metingen

Synopsis

National survey of PFAS in Dutch groundwater

PFAS (per- and polyfluoroalkyl substances) are a group of man-made substances. When we manufacture or use products that contain PFAS, these substances may end up in the environment. A RIVM study shows that PFAS can be found in groundwater everywhere in the Netherlands.

Usually, the substances are present in low concentrations. The highest concentrations of PFAS were found in subsoil groundwater, immediately below ground level. However, PFAS were also found deeper underground and in less recent groundwater. These were mainly PFAS that had not formed a rapid bond to particles in the soil, allowing them to easily spread through groundwater flows.

An earlier RIVM study already revealed the widespread presence of PFAS in the soil. The measurements for the groundwater study were partially conducted on the same sites as for the soil study. This made it possible for RIVM to investigate a possible connection between concentrations in the soil and in the groundwater. However, no such connection was found. On sites where the concentration of PFAS in the groundwater is low, RIVM believes that the difference in PFAS concentrations between the soil and the groundwater is caused by various factors, such as rainfall and groundwater flow rate.

Other studies did reveal a connection. According to RIVM, these concerned sites with high local concentrations of PFAS in the groundwater, for example as a result of a fire being extinguished with extinguishing foam. Extinguishing foam contains PFAS.

Keywords: PFAS, groundwater, substances, measurements

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1	Aanleiding, achtergrond en doelstelling — 11
1.1	Aanleiding — 11
1.2	Achtergrond: wat weten we al van PFAS in grondwater? — 11
1.2.1	Resultaten uit inventarisatie 2020 — 12
1.2.2	Toekomst PFAS gegevens uit meetnetten grondwater — 12
1.3	Doel- en vraagstelling — 12
2	Selectie van locaties — 15
2.1	Bodem en grondwatersysteem — 15
2.2	Freatisch grondwater — 15
2.3	Ondiep en middeldiep grondwater — 18
3	Bemonstering en analyse — 21
3.1	Monstername freatisch grondwater — 21
3.2	Monstername ondiep en middeldiep grondwater — 21
3.3	Chemische analyses — 22
4	Resultaten en analyse — 23
4.1	Freatisch grondwater — 23
4.1.1	Belasting van het freatische grondwater met PFAS — 23
4.1.2	Vóórkomen van verschillende PFAS — 30
4.2	Relatie tussen PFAS concentraties in freatisch grondwater en in bodem — 32
4.3	Ondiep en middeldiep grondwater (LMG) — 34
4.3.1	Belasting van het ondiepe en middeldiepe grondwater met PFAS — 34
4.3.2	Voorkomen van verschillende PFAS — 40
4.3.3	Ruimtelijke weergave — 42
4.4	Samenhang aanwezigheid van verschillende PFAS — 43
4.4.1	Correlatie tussen concentraties van verschillende PFAS — 44
5	Conclusies en discussie — 47
5.1	Conclusies — 47
5.1.1	Algemeen beeld uit grondwateronderzoek PFAS — 47
5.1.2	Relatie tussen concentraties in bodem en concentraties in freatisch grondwater — 47
5.2	Discussie — 47
5.2.1	Representativiteit van metingen en achtergrondwaarden PFAS in grondwater — 47
5.2.2	Resultaten grondwateronderzoek in relatie tot historische belasting bodem en verwachtingen voor toekomstige ontwikkeling grondwaterkwaliteit — 48
5.2.3	PFAS in ouder grondwater — 48
5.2.4	Relatie tussen gehalten in bodem en concentraties in grondwater — 48
5.2.5	Samenhang tussen verschillende PFAS componenten in grondwater — 49

Dankwoord — 51

Literatuur — 53

Bijlage 1: Totstandkoming protocol PFAS bemonsteringen — 55

- 1.1 Inleiding — 55
- 1.2 Regulier monsternamenameprotocol LMG — 55
- 1.3 Vooronderzoek: Materiaalonderzoek LMG meetnet — 56
- 1.4 Overzicht gebruikte monsternamematerialen — 58
- 1.5 Laboratoriumonderzoek: Adsorptie en afgifte onderzoek bemonsteringsslangen — 61
- 1.6 Veldtestdagen: Veldonderzoek PFAS monsternamemethodes — 61
- 1.7 Uitvoering testbemonsteringen — 64
- 1.8 Resultaten lab-analyse — 68
- 1.9 Algemene duiding resultaten — 69
- 1.10 Conclusie — 70
- 1.11 Geraadpleegde bronnen — 71

Bijlage 2: Monsternamename protocol LMG — 72

Bijlage 3 PFAS doelstoffen en rapportagegrenzen — 76

Bijlage 4. Kaarten PFAS in grondwater — 77

Samenvatting

PFAS (per- en polyfluoralkylstoffen) is een groep door de mens gemaakte stoffen waarvan inmiddels bekend is dat ze bij productie en gebruik in het milieu terecht zijn gekomen. PFAS staan in de belangstelling omdat veel van deze stoffen niet afbreken in het milieu, zich snel door de bodem en oppervlaktewater kunnen verplaatsen en omdat sommige PFAS schadelijk zijn voor mens en milieu. Ook in het grondwater worden PFAS aangetroffen. In Nederland worden stoffen als PFAS in het grondwater gemeten door onder andere de provincies en de drinkwaterbedrijven. Omdat er nog geen landsdekkend beeld bestond van de concentraties PFAS in het grondwater is dit onderzoek uitgevoerd.

In dit onderzoek zijn de concentraties PFAS op verschillende plekken in het Nederlands grondwater gemeten. De hoogste concentraties en de meeste PFAS worden gevonden in het grondwater direct onder de grondwaterspiegel, het zogenoemde freatisch grondwater. Op punten waar het langer duurt voordat ondiep grondwater kan doordringen, zijn de concentraties PFAS lager en worden ook minder verschillende PFAS aangetroffen. Dit beeld komt overeen met wat er bekend is van deze groep stoffen. Een deel van de PFAS verbindingen is mobiel, dat wil zeggen dat ze zich snel met het grondwater door de bodem verplaatsen. Een ander deel is minder mobiel omdat ze beter binden aan de bodem.

Op de plaatsen waar het freatisch grondwater werd onderzocht zijn eerder ook metingen naar PFAS in de bodem gedaan. In dit onderzoek werd geen verband gevonden tussen de hoogte van de concentraties PFAS in de bodem en de concentraties PFAS in het freatisch grondwater. Dit komt waarschijnlijk doordat de gemeten concentraties relatief laag zijn en omdat het gaat om onderzoeken die op verschillende momenten zijn uitgevoerd. Uit andere onderzoeken is bekend dat bij hogere concentraties PFAS in de bodem, bijvoorbeeld als gevolg van een lokale verontreiniging, dat wel leidt tot meetbaar verhoogde concentraties in het grondwater.

De metingen in het ondiepe grondwater (10 meter beneden maaiveld) en het middeldiepe grondwater (25 meter beneden maaiveld) laten zien dat de PFAS belasting van het jonge (< 25 jaar) en zoete grondwater hoger is dan de PFAS belasting van oudere (> 25 jaar) en zout grondwater.

De aanwezigheid van PFAS in het grondwater laat zien dat in het recente verleden, persistente mobiele stoffen via de bodem konden doordringen tot in de verzadigde zone. Door in de toekomst actief op zoek te gaan naar nieuwe (groepen van) stoffen in de bodem die mogelijk een bedreiging vormen voor het grondwater kan ook het bodembeleid een bijdrage leveren aan brongerichte maatregelen, door deze stoffen aan het licht te brengen en waar nodig nieuwe emissies zo vroeg mogelijk te beperken of te stoppen.

Het RIVM is geïnteresseerd in de ontwikkeling van een algemene methodiek voor opkomende stoffen in bodem en waterbodem en werkt in opdracht van het Ministerie van IenW samen met deskundigen en belanghebbenden aan belangrijke onderdelen van deze methodiek. Daartoe behoren een signaleringsfunctie, een landsdekkende monitoring en methoden voor een snelle risicobeoordeling van diffuus verspreide stoffen.

1 Aanleiding, achtergrond en doelstelling

1.1 Aanleiding

Gefluoreerde verbindingen als PFOS en PFOA behoren tot de groep Poly- en PerfluorAlkylStoffen (PFAS). PFAS staan de laatste jaren in verhoogde belangstelling vanwege hun voorkomen in bodem, sediment en grondwater en hun bioaccumulerende eigenschappen. PFAS zijn door de mens gemaakte chemische stoffen, die van nature niet in het milieu voorkomen. PFAS is een verzamelnaam voor een grote groep van verbindingen, waarvan een deel in het milieu wordt aangetroffen. PFAS worden gebruikt in producten om oppervlakten te beschermen, zoals bij de behandeling van tapijten en kleding, coatings voor kartonnen verpakkingen en antiaanbaklagen in pannen. Ook zijn PFAS gebruikt in blusschuim vanwege hun brandwerende eigenschappen. PFAS kunnen in het milieu terechtkomen bij de fabricage, het gebruik en vanuit afval van producten waarin ze verwerkt zijn.

De belangstelling voor het voorkomen van PFAS in bodem en grondwater richtte zich in eerste instantie voornamelijk op bekende en grotere verontreinigingen, zoals het blusschuimincident bij Schiphol in 2008. In de periode daarna werd duidelijk dat PFAS niet uitsluitend als dergelijke puntbronverontreinigingen in de bodem werden aangetroffen, maar ook voorkomen op andere locaties als gevolg van zogenoemde diffuse bronnen.

In 2019 en 2020 is gestart met het verkrijgen van een landelijk beeld van het voorkomen van PFAS-verbindingen in bodem. Dit heeft geleid tot vaststelling van tijdelijke achtergrondwaarden voor PFAS eind 2019 (Wintersen et al., 2019) en definitieve achtergrondwaarden medio 2020 (Wintersen et al., 2020b). Hiermee is een beter beeld verkregen van de ordegrootte van concentraties PFAS in de bovengrond wanneer er sprake is van een diffuse belasting.

Van een deel van de PFAS is bekend dat zij in meer of mindere mate mobiel zijn (Brusseau, 2019; Li et al., 2018). Deze verbindingen kunnen op termijn met infiltrerend regenwater meegevoerd worden en zo het grondwater belasten. Inmiddels is bekend dat de PFAS verbindingen die diffuus in bodem worden aangetroffen, ook in grondwater voorkomen (Wit et al., 2020).

1.2 Achtergrond: wat weten we al van PFAS in grondwater?

PFAS worden sinds enkele jaren door provincies in het grondwater gemeten en aangetroffen (Sjerps, 2017; Van Loon, 2020). In Noord-Brabant is in 2012 begonnen met een PFAS meetronde. De meeste andere provincies zijn in 2015-2016 met PFAS bemonstering begonnen. In 2018 hebben alle provincies ten minste 1 PFAS meetronde uitgevoerd (Wit et al., 2020).

Ook drinkwaterbedrijven meten PFAS in het grondwater. Uit een vergelijking tussen de concentraties PFAS in drinkwater en nieuwe richtwaarden voor PFAS in drinkwater blijkt dat PFAS ook in lage

concentraties worden aangetroffen in diepere winningen die worden gebruikt voor de drinkwaterbereiding (Van der Aa et al., 2021). Daarnaast is in 2017 een pilot voor PFAS uitgevoerd in het kader van de EU-watchlist grondwater. Deze studie laat zien dat PFAS voorkomen in het grondwater in Europa (WFD CIS, 2020).

1.2.1 *Resultaten uit inventarisatie 2020*

In 2020 heeft het RIVM een inventarisatie uitgevoerd van beschikbare gegevens van PFAS in grondwater (Wit et al., 2020). Voor deze studie waren uitsluitend de gegevens van de provincies beschikbaar. Deze studie liet zien dat met de beschikbare metingen geen representatief beeld van de landelijke diffuse belasting van grondwater met PFAS verkregen kon worden. De belangrijkste redenen daarvoor waren de relatief hoge rapportagegrenzen en de verschillen in intensiteit van bemonstering in de afgelopen jaren. Tussen provincies verschilden zowel het aantal metingen, als de aantallen waarnemingen boven de rapportagegrens. Uit de data bleek verder dat PFOS en PFOA vrijwel overal in grondwater boven de rapportagegrens werden aangetroffen. Enkele overige PFAS werden slechts sporadisch aangetoond in de beschouwde onderzoeken. Naast PFOA en PFOS werden PFBS, PFHxS, PFBA, PFHpA, PFHxA en PFPA incidenteel boven de rapportagegrens gemeten. 13 van de 21 geanalyseerde PFAS-stoffen werden niet boven de rapportagegrens aangetroffen.

In het huidige onderzoek liggen de rapportagegrenzen tot een factor 100 lager. Daarmee ontstaat een genuanceerder beeld van de verspreiding van PFAS in het Nederlands grondwater.

1.2.2 *Toekomst PFAS gegevens uit meetnetten grondwater*

Vanaf 2021 hanteren de provincies een gezamenlijke bemonsteringsstrategie voor de Kaderrichtlijn Water (KRW) waardoor in de toekomst in het Kaderrichtlijn water Monitoringsprogramma Grondwaterkwaliteit (KMG) een beter landelijk beeld zal ontstaan over PFAS in grondwater. Daarnaast denken provincies momenteel na over ondiepe early warning monitoring gericht op opkomende stoffen en bestrijdingsmiddelen. Dat zullen filters zijn die doorgaans ondieper zijn dan 10 meter onder het maaiveld (<10m-m.v.). De ondiepe meetnetten moeten echter nog grotendeels opgezet worden, dus op korte termijn zullen daar nog geen metingen uit beschikbaar komen. Naast extra metingen, zullen bij toekomstige meetronden naar verwachting de rapportagegrenzen voor PFAS ook lager zijn, waardoor ook PFAS die in zeer lage concentraties voorkomen in grondwater kunnen worden aangetoond. Dit zal leiden tot een beter beeld van de verspreiding van PFAS in Nederlands grondwater.

1.3 **Doel- en vraagstelling**

Met dit onderzoek wordt beoogd een landsdekkend beeld te verkrijgen van de diffuse belasting van het grondwater in Nederland tot een diepte van circa 25 meter onder het maaiveld. Door grondwater te bemonsteren op verschillende diepten en deels op plaatsen waar eerder metingen van PFAS in bodem zijn verricht wordt eveneens inzicht verkregen in de relatie tussen de aanwezigheid van PFAS in bodem en op verschillende diepten in het grondwater.

Vraagstelling

Door een landelijke bemonstering en analyse van grondwater uit te voeren op verschillende diepten kunnen de volgende onderzoeksvragen worden beantwoord:

1. *Welke PFAS¹ komen voor in het grondwater op verschillende diepten en in welke mate?*
2. *Is een relatie zichtbaar tussen concentraties van PFAS in bodem, in ondiep grondwater en in dieper gelegen grondwater?*

De tweede vraag kan hoogstens bij benadering worden beantwoord met het verkregen beeld, omdat de mechanismen van transport van stoffen als PFAS door het grondwater complex en van veel tijd- en locatie-specifieke factoren afhankelijk zijn. Daarbij valt te denken aan de samenstelling van de bodem en de bodemopbouw, de geohydrologische situatie en de aanwezigheid van bronnen van PFAS in bodem en grondwater.

Praktisch nut

Dit onderzoek draagt bij aan de volgende doelstellingen:

1. Inzicht verkrijgen in het vóórkomen van PFAS en daarmee de mogelijkheid om landsdekkende achtergrondwaarden voor PFAS in grondwater te bepalen.
2. Beter inzicht verkrijgen in het vóórkomen van PFAS in grondwater en de snelheid waarmee PFAS zich daarin verplaatsen met het oog op het beschermen van objecten, zoals drinkwaterwinningen.

Welke informatie geeft het onderzoek niet?

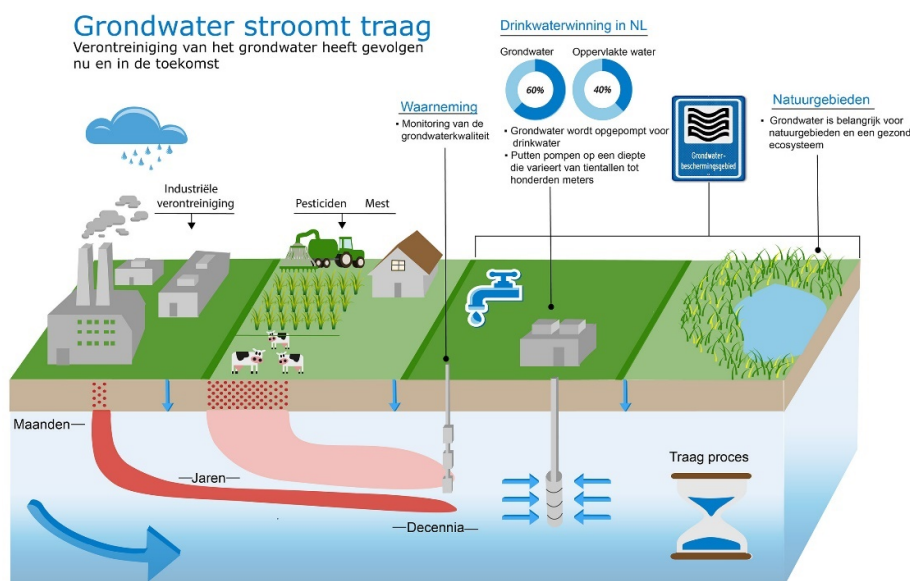
Met dit onderzoek wordt beoogd een objectief landsdekkend beeld te krijgen van de mate van verspreiding van PFAS in grondwater. Vrijwel alle diffuus voorkomende stoffen kunnen bij voldoende lage rapportagegrenzen in overwegend lage concentraties in grondwater worden aangetroffen. Dit onderzoek doet geen uitspraak over de (gewenste) kwaliteit van het onderzochte grondwater.

¹ Van de PFAS uit de doelstoffenanalyse uit dit onderzoek, zie Bijlage 3

2 Selectie van locaties

2.1 Bodem en grondwatersysteem

PFAS kunnen bijvoorbeeld door productie, gebruik en het weggooien van PFAS-houdende producten in de bodem terecht komen en via de bodem in het grondwater. Verder kunnen PFAS door infiltratie van oppervlaktewater in de bodem en het grondwater terecht komen. Figuur 2.1 laat zien dat de tijd die infiltrerend water er over doet om op een bepaalde plek in het grondwatersysteem te komen, varieert. Over het algemeen neemt de leeftijd van grondwater toe met de diepte en zorgt een slechter doorlatende bodem voor een tragere grondwatersnelheid. Daarbij is het van belang dat de geschatte leeftijd van grondwater op een specifieke plek, bijvoorbeeld een putfilter uit het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit, een *gemiddelde* leeftijd van het grondwater betreft. De herkomst van grondwater op een plek kan variëren en daarmee ook de verblijftijden van het grondwater. De verwachting is dat jong grondwater gemiddeld de hoogste concentraties PFAS bevat.



Figuur 2.1 Emissies van stoffen naar het grondwater en stroming over verschillende dieptes en tijdschalen (LMG, RIVM).

In deze studie wordt onderscheid gemaakt in freatisch grondwater, ondiep grondwater en middeldiep grondwater. Met het freatische grondwater wordt het grondwater direct beneden de grondwaterspiegel bedoeld. Met het ondiepe grondwater wordt het grondwater bedoeld op 10 meter beneden maaiveld. Met het middeldiepe grondwater wordt het grondwater bedoeld op 25 meter beneden maaiveld.

2.2 Freatisch grondwater

De locaties waar het freatisch grondwater voor het huidige onderzoek zijn bemonsterd zijn ook in 2020 bemonsterd in het kader van het landsdekkend beeld PFAS in bodem (Wintersen et al., 2020b). Deze

opzet is gekozen zodat een verkenning mogelijk wordt van de relatie tussen concentraties PFAS in freatisch grondwater en de eerder waargenomen gehalten in bodem.

Voor het achtergrondwaardenonderzoek in bodem zijn bemonsteringslocaties geselecteerd verspreid over Nederland, waarbij de indeling naar bodemtype uit AW2000 werd overgenomen (Lamé et al., 2004). Aanvullend op de bodemgebruiken landbouw en natuur (aangeduid als 'onbeïnvloed') werden twee nieuwe bodemgebruiken toegevoegd: stedelijk en industrie (aangeduid als 'potentieel beïnvloed'). De omvang (weging) van de verschillende categorieën werd bepaald aan de hand van het voorkomen van de bodemtypes en -gebruiken in Nederland op basis van de actuele Landgebruik kaart (CBS, 2015) en de grondsoortenkaart.

Om de kans op metingen boven de rapportagegrens in beide media (bodem en freatisch grondwater) te vergroten is voor dit onderzoek bemonsterd op locaties uit de dataset van potentieel beïnvloede locaties. Het achtergrondwaardenonderzoek in bodem toonde aan dat de concentraties van PFAS op deze locaties over het algemeen hoger waren dan op de onbeïnvloede locaties. De onbeïnvloede locaties zijn niet bezocht voor het bemonsteren van het freatisch grondwater.

De locaties zijn geselecteerd op basis van een gestratificeerde aselechte steekproef. Bij de selectie van locaties in stedelijk gebied gelden de volgende randvoorwaarden:

- Binnen grenzen stedelijk gebied (zie lijst hieronder);
- minimaal 100 m² aaneengesloten zacht oppervlak;
- Geen locaties in de uiterwaarden;
- Geen locaties in gebieden met glastuinbouw;
- Geen locaties op de Waddeneilanden.

Stedelijk gebied is hierbij gedefinieerd volgens het bestand Bodemstatistiek 2015 (CBS, 2015):

- Woongebied;
- Detailhandel;
- Openbare voorziening;
- Sociaal-culturele voorziening;
- Begraafplaats;
- Sportterrein;
- Volkstuin;
- Verblijfsrecreatie.

Bij de selectie van locaties in industriegebieden gelden de volgende randvoorwaarden:

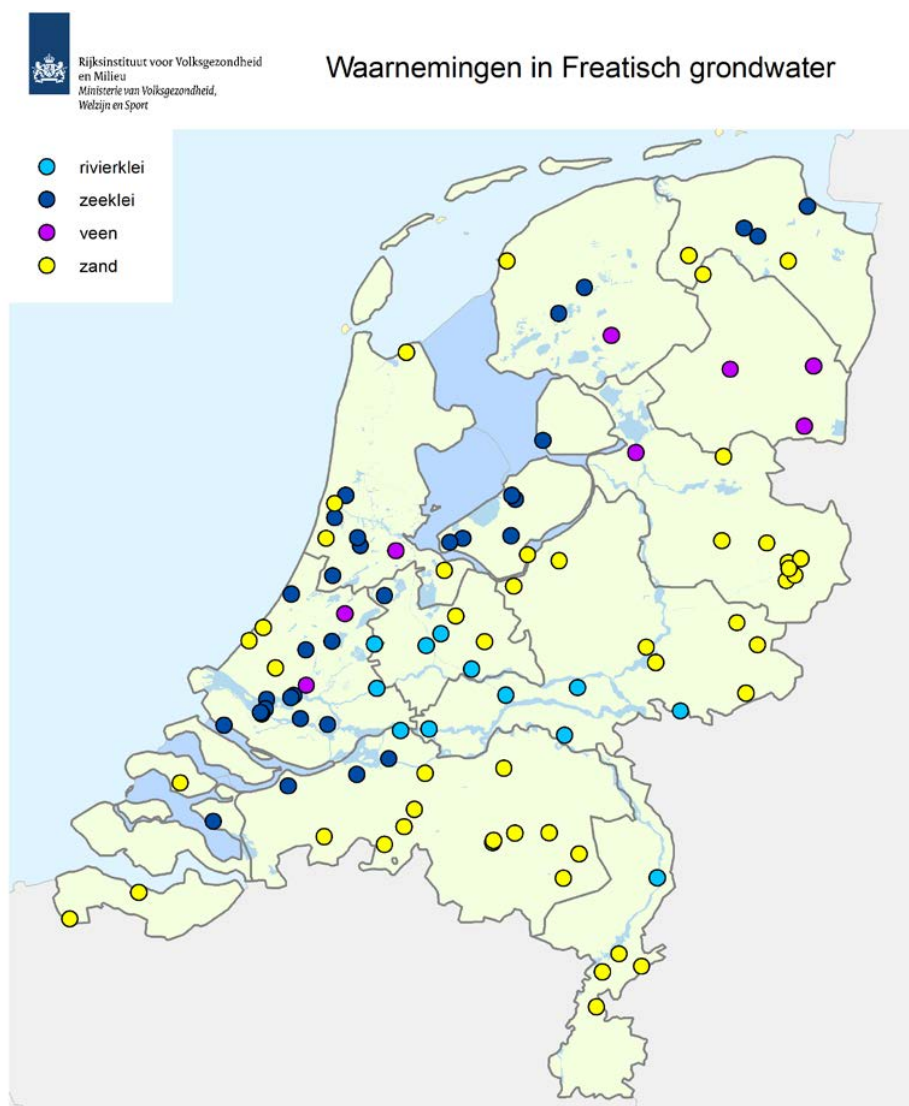
- Binnen grenzen industriegebied;
- Niet binnen terreingrens van BRZO (Besluit risico's zware ongevallen) i.v.m. toegankelijkheid;
- minimaal 100 m² aaneengesloten zacht oppervlak;
- geen locaties in de uiterwaarden;
- Geen locaties in gebieden met glastuinbouw;
- Geen locaties op de Waddeneilanden.

De grenzen van een industriegebied zijn afgeleid van de categorie "Bedrijfsterrein" volgens het bestand Bodemstatistiek 2015.

Tabel 2.2 geeft de aantallen locaties per bodemtype. Figuur 2.2 laat de ligging van de locaties voor freatische bemonstering en het bodemtype zien.

Tabel 2.2 Aantal locaties waar monsternamen van freatisch grondwater heeft plaatsgevonden per bodemtype

Bodemtype	Aantal
Rivierklei	12
Veen	8
Zand	48
Zeeklei	33



Figuur 2.2 Ligging van locaties freatische grondwaterbemonstering en bijbehorend bodemtype

Een beperkt aantal locaties (11) valt onder één van de bodemgebruiken landbouw of natuur. Dit is het gevolg van de automatische toekenning

van alle locaties binnen een straal van 50 kilometer van Dordrecht aan de dataset van potentieel beïnvloede locaties. De volledige indeling naar bodemgebruik en bodemtype is af te lezen in Tabel 4.1 in Hoofdstuk 4.

2.3 Ondiep en middeldiep grondwater

Voor het bemonsteren van het ondiepe (10 m-m.v.) en het middeldiepe (25 m-m.v.) grondwater is gebruik gemaakt van de opzet van het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG). Het LMG is opgezet om de grondwaterkwaliteit van het ondiepe en middeldiepe grondwater in Nederland te monitoren en te beschrijven (Van Duijvenbooden et al., 1985). Hiertoe zijn op circa 350 over heel Nederland verspreide locaties, zogenoemde meetpunten, vaste grondwaterputten geplaatst. Op ieder meetpunt kan het grondwater van dieptes van circa 10 (filter 1), 15 (filter 2) en 25 (filter 3) meter beneden het maaiveld worden opgepompt ter bemonstering. Achtergrondinformatie over de doelstellingen, toepassingen, inrichting, uitvoering en resultaten van het LMG zijn weergegeven op www.rivm.nl/landelijk-meetnet-grondwaterkwaliteit.

Om een landsdekkend beeld weer te kunnen geven zijn de 350 locaties verdeeld over gebieden die ruimtelijk homogeen zijn voor wat betreft geologische, geomorfologische en mesoklimatologische kenmerken en kenmerken van de diepe grondwaterstromen (Klijn, 1988) en landgebruik. Voor deze homogene gebieden worden binnen LMG uitspraken gedaan m.b.t. de mediane concentraties.

Voor het verkrijgen van een landsdekkend beeld van PFAS in het grondwater is er niet voor gekozen de gangbare gebiedsindeling van het LMG te gebruiken. In plaats daarvan is bij de monsternamen voor het huidige onderzoek uitsluitend een onderscheid gemaakt in zoet/zout en jong/oud grondwater. De verwachting is dat deze kenmerken van het grondwater (jong/oud en zoet/zout) het meest onderscheidend zijn voor het aantreffen van PFAS in het grondwater. Met deze twee sets van kenmerken zijn 4 strata opgesteld: jong-zoet, oud-zoet, jong-brak/zout en oud-brak/zout.

Het onderscheid in zoet/zout is bepaald op basis van de gemiddelde chloride concentratie in een LMG filter, waarbij zoet grondwater minder dan 150 milligram chloride per liter water bevat.

Het onderscheid in jong/oud is bepaald op basis van de classificatie van de tritiumcode zoals bekend in het LMG. In het LMG wordt onderscheid gemaakt in 3 klassen: onbekend, jong en oud. Deze zijn bepaald o.b.v. tritiumconcentraties gemeten in de jaren 80. De grens tussen jong en oud grondwater ligt op ongeveer 25 jaar.

Voor elk van de genoemde 4 strata is bepaald hoeveel filters in het gehele LMG voorkomen. Van de 666 putfilters in het LMG konden 602 filters worden toegekend aan 1 van de 4 strata (zie Tabel 2.2). Van de overige filters is niet bekend tot welke van de 4 strata ze behoren. Vervolgens zijn door random selectie in de verschillende strata 100 filters geselecteerd.

Tabel 2.2 Verdeling gemeten putfilters naar strata (combinatie watertype en ouderdom) binnen het gehele LMG en voor de PFAS meetronde.

Kenmerk	Indeling	Aantal putfilters LMG	Aantal putfilters LMG/PFAS
Filter	1 (10 m-mv)	338*	49
	2 (15 m-mv)	16*	2
	3 (25 m-mv)	312*	49
Ouderdom	Jong	326	54
	Oud	276	46
Watertype	Zoet	467	77
	Brak/zout	135	23
Strata	Jong-zoet	286	47
	Oud-zoet	181	30
	Jong-brak/zout	40	7
	Oud-brak/zout	95	16
Totaal		602	100

* Aantallen voor filters 1-3 zijn groter dan voor de andere kenmerken. Dit komt doordat voor een aantal putfilters de ouderdom of watertype onbekend is en deze dus afvallen.

In Figuur 2.3 zijn de voor het huidige onderzoek bemonsterde locaties ruimtelijk weergegeven op een kaart van Nederland waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen de 4 strata.



Figuur 2.2 Ruimtelijke weergave van de voor het huidige onderzoek bemonsterde locaties uit het LMG per stratum.

3 Bemonstering en analyse

3.1 Monstername freatisch grondwater

Bij de monstername van grondwater ten behoeve van analyse op PFAS dienen voorzorgsmaatregelen genomen te worden om het risico op adsorptie aan en contaminatie door gebruikte materialen te voorkomen. De monstername van het freatische grondwater is uitgevoerd door adviesbureau Sweco. Het rapport van Sweco beschrijft in meer detail welke voorzorgsmaatregelen zijn getroffen en hoe de bemonstering van het freatisch grondwater heeft plaatsgevonden (Sweco, 2020). In deze paragraaf wordt volstaan met een korte samenvatting van de gevolgde werkwijze.

Het veldwerk is uitgevoerd conform protocollen 2001 en 2002 van de beoordelingsrichtlijn SIKB BRL 2000 voor Veldwerk bij milieuhygiënisch bodem- en waterbodemonderzoek. Hierbij wordt een tijdelijke peilbuis aangebracht. In afwijking van voornoemde protocollen is, conform gemaakte afspraken, op de dag van plaatsing, na doorspoelen van het filter, bemonsterd.

Tijdens het veldwerk zijn de volgende werkzaamheden verricht:

- het opnemen van de grondwaterstand in de peilbuizen;
- het bepalen van de zuurgraad (pH);
- het bepalen van het elektrisch geleidingsvermogen (EC);
- het bepalen van de troebelheid (NTU) van het grondwater; en
- het nemen van grondwatermonsters uit de peilbuizen.

3.2 Monstername ondiep en middeldiep grondwater

De monstername van het ondiepe en middeldiepe grondwater is uitgevoerd door het RIVM. De reguliere bemonsteringsmethode van het LMG sluit aan op het protocol NTA 8017 Monsterneming van grondwater ten behoeve van monitoring van grondwaterkwaliteit (NEN, 2008). Voor het bemonsteren van de putfilters uit het LMG zijn een aantal zaken uitgezocht om te komen tot een monsternameprotocol specifiek voor PFAS in LMG:

1. Materialenonderzoek en vooronderzoek
In dit onderzoek is nagegaan welke materialen aanwezig zijn bij zowel de meetlocaties als bij de monstername-apparatuur om een inschatting te maken m.b.t. risico's voor contaminatie met PFAS-componenten. Daarnaast is contact gezocht met verschillende experts op het gebied van monstername ten behoeve van PFAS metingen.
2. Slangenonderzoek
Voor de verschillende typen slangen die gebruikt kunnen worden bij de monstername is nagegaan of PFAS wordt afgegeven of opgenomen tijdens monstername. Dit is gedaan aan de hand van een uitloogonderzoek in het laboratorium.
3. Veldtestdagen voor beoordeling geschiktheid pompen
Voor monstername van ondiep en middeldiep grondwater zijn verschillende pompen beschikbaar. De geschiktheid van de pompen voor PFAS-monstername is afhankelijk van de aanwezigheid van PFAS-houdende materialen in de pomp

(bijvoorbeeld teflon) en de debieten die kunnen worden gehaald met de pomp. Er zijn twee veldtestdagen uitgevoerd om te onderzoeken welke van de beschikbare pompen het meest geschikt was.

Op basis van deze onderzoeken is een monsternameprotocol opgesteld. In bijlage 1 wordt een volledige beschrijving gegeven van de aanpak en resultaten van het materialenonderzoek, slangenonderzoek en van de veldtestdagen. In bijlage 2 is het monsternameprotocol voor PFAS in LMG weergegeven.

Tijdens het veldwerk zijn de volgende werkzaamheden verricht:

- het opnemen van de grondwaterstand in de peilbuizen;
- het bepalen van de zuurgraad (pH);
- het bepalen van het elektrisch geleidingsvermogen (EC);
- het nemen van grondwatermonsters uit de peilbuizen.

3.3 Chemische analyses

Bijlage 3 bevat de lijst met 28 PFAS die in het kader van dit onderzoek zijn geanalyseerd door Synlab Linköping in Zweden. De meeste PFAS werden bepaald op basis van een voor grondwater ontwikkelde variant van methode DIN 38407-42 (DIN, 2011). De lijst toont daarnaast de (standaard) rapportagegrenzen behoudens matrixstoringen. In alle monsters is ook opgelost organisch koolstof (DOC) gemeten.

4 Resultaten en analyse

4.1 Freatisch grondwater

4.1.1

Belasting van het freatische grondwater met PFAS

In Tabel 4.1 worden de aantallen bemonsterde meetlocaties en metingen weergegeven uitgesplitst naar de verschillende bodemtype-landgebruik combinaties (strata). Verwacht wordt dat het landgebruik mede bepaalt of een PFAS in het milieu terecht komt, terwijl het bodemtype van belang kan zijn voor de verdere verspreiding (snelheid van uitloging en transport). Bij de selectie van locaties voor de bemonstering van freatisch grondwater is geen landsdekkend representatieve afspiegeling van bodemtypen en landgebruik nagestreefd (zie ook Paragraaf 2.2). De indeling van de freatische waarnemingen op basis van bodemtype en landgebruik in dit hoofdstuk heeft daarmee een informatief karakter.

Tevens aangegeven in onderstaande tabel zijn de percentages voor locaties waar ten minste 1 PFAS boven de rapportagegrens is aangetroffen en het percentage metingen boven de rapportagegrens. In de laatste kolommen staat hoeveel PFAS zijn aangetroffen en welke dit zijn.

Tabel 4.1 Verdeling meetlocaties en metingen naar bodemtype en -gebruik

Bodem-type	Bodem-gebruik	locaties	% PFAS ¹	Metingen	% >RG ²	Aantal PFAS >RG ³	PFAS stoffen
rivierklei	industrie	4	100	120	28	11	PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS
	landbouw	3	100	90	21	13	6:2.FTS, PFBA, PFBS, PFDA, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA
	natuur	0	-	-	-	-	-
	stedelijk	5	100	150	30	13	6:2.FTS, PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS
veen	industrie	4	100	120	37	14	6:2.FTS, PFBA, PFBS, PFHpA, PFHpS, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS
	landbouw	0	-	-	-	-	-
	natuur	0	-	-	-	-	-
	stedelijk	4	100	120	28	11	PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS

Bodem-type	Bodem-gebruik	locaties	% PFAS ¹	Metingen	% >RG ²	Aantal PFAS >RG ³	PFAS stoffen
zand	industrie	22	100	660	33	15	6:2.FTS, PFBA, PFBS, PFDA, PFHpA, PFHpS, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS
	landbouw	2	100	60	33	11	PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS
	natuur	3	100	90	17	10	6:2.FTS, PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt
	stedelijk	21	95	630	25	15	6:2.FTS, PFBA, PFBS, PFDA, PFHpA, PFHpS, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS
zeeklei	industrie	15	100	450	30	14	6:2.FTS, PFBA, PFBS, PFHpA, PFHpS, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS
	landbouw	2	100	60	42	14	6:2.FTS, PFBA, PFBS, PFDA, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS
	natuur	1	0	30	0	0	-

Bodem-type	Bodem-gebruik	locaties	% PFAS ¹	Metingen	% >RG ²	Aantal PFAS >RG ³	PFAS stoffen
	stedelijk	15	87	450	21	15	8:2.DiPAP, PFBA, PFBS, PFDA, PFHpA, PFHpS, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS

¹ percentage putfilters waar PFAS is aangetroffen >RG;

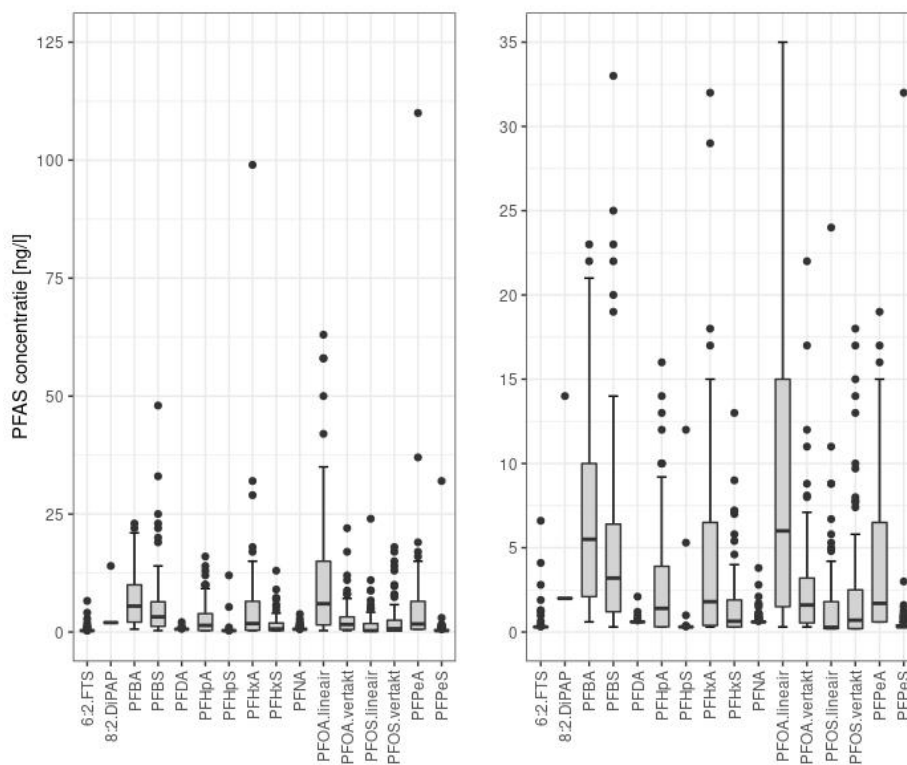
² percentage metingen waar de concentratie >RG is;

³ aantal PFAS aangetroffen >RG.

Bovenstaande tabel laat zien dat het aantal meetlocaties in sommige strata (combinaties van bodemtype en -gebruik) laag is. Dit komt omdat de meetopzet niet is ontworpen om uitspraken per combinatie van bodemtype en bodemgebruik mogelijk te maken. De selectie van monsterpunten is erop gericht om locaties met relatief hoge diffuse concentraties PFAS te bemonsteren. Als gevolg hiervan is het niet mogelijk om gerelateerd aan de strata definitieve uitspraken te doen. Zo is duidelijk te zien dat industrieel en stedelijk gebied op zand en zeeklei oververtegenwoordigd zijn en andere strata juist een gering aantal meetlocaties hebben. De observaties met betrekking tot de strata van de freatische metingen dienen in dit licht te worden gezien.

Wat opvalt is dat op een groot percentage van de monsterlocaties met bodemtype zeeklei, PFAS werden aangetroffen in het freatische grondwater. In de meeste strata was dit 100%, met uitzondering van zeeklei in combinatie met natuur als bodemgebruik. Het aantal metingen boven de rapportagegrens varieert tussen de 20 en 40%. De meest verschillende PFAS werden aangetroffen in industrieel en stedelijk gebied met zandgrond en in stedelijk gebied met zeeklei als bodemtype.

Van de 30 PFAS die zijn geanalyseerd zijn er 16 aangetroffen in het freatische grondwater. De aangetroffen PFAS met bijbehorende statistieken zijn weergegeven in Figuur 4.1 en Tabel 4.2.



Figuur 4.1 Boxplots aangetroffen PFAS in freatisch grondwater met rechts een zoom-in. N = 101 voor alle stoffen..

Tabel 4.2 Statistieken van aangetroffen (>rapportagegrens, >RG) PFAS in het freatische grondwater in ng/l. In totaal zijn 16 van de 30 geanalyseerde PFAS aangetroffen. De dikgedrukte stoffen zijn niet aangetroffen in het diepere grondwater binnen het LMG (zie verderop in Paragraaf 4.3). Statistieken zijn inclusief rapportagegrenzen.

ID	PFAS	PFAS code	CAS-nummer	n	% <RG	RG [ng/l]	Metingen [ng/l]			
							min	P50 ₁	P95 ₁	max
1	6:2.FTS.(6:2.fluortelomeer.sulfonzuur)	6:2.FTS	27619-97-2	101	87	0,3	0,3	0,3	1,2	6,6
2	8:2.DiPAP.(8:2.fluortelomeer.fosfaat .diester)	8:2.DiPAP	678-41-1	101	99	2,0	2,0	2,0	2,0	14,0
3	PFBA.(perfluorbutaanzuur)	PFBA	375-22-4	101	15	0,6	0,6	5,5	21,0	23,0
4	PFBS.(perfluorbutaansulfonzuur)	PFBS	375-73-5	101	11	0,3	0,3	3,2	20,0	48,0
5	PFDA.(perfluordecaanzuur)	PFDA	335-76-2	101	95	0,6	0,6	0,6	0,6	2,1
6	PFHpA.(perfluorheptaanzuur)	PFHpA	375-85-9	101	25	0,3	0,3	1,4	10,0	16,0
7	<u>PFHpS.(perfluorheptaansulfonzuur)</u>	PFHpS	375-92-8	101	94	0,3	0,3	0,3	0,3	12,0
8	PFHxA.(perfluorhexaanzuur)	PFHxA	307-24-4	101	24	0,3	0,3	1,8	15,0	99,0
9	PFHxS.(perfluorhexaansulfonzuur)	PFHxS	355-46-4	101	39	0,3	0,3	0,6	7,0	300,0
10	PFNA.(perfluornonaanzuur)	PFNA	375-95-1	101	80	0,6	0,6	0,6	1,5	3,8
11	PFOA.lineair.(perfluorooctaanzuur)	PFOA.lineair	335-67-1	101	11	0,3	0,3	6,0	35,0	63,0
12	PFOA.vertakt.(perfluorooctaanzuur)	PFOA.vertakt	-	101	18	0,3	0,3	1,6	8,1	22,0
13	PFOS.lineair.(perfluorooctaansulfonzuur)	PFOS.lineair	1763-23-1	101	44	0,2	0,2	0,3	6,7	960,0
14	PFOS.vertakt.(perfluorooctaansulfonzuur)	PFOS.vertakt	-	101	36	0,2	0,2	0,7	13,0	820,0
15	PFPeA.(perfluorpentaanzuur)	PFPeA	2706-90-3	101	37	0,6 – 6,0	0,6	1,7	15,0	110,0
16	PFPeS.(perfluorpentaansulfonzuur)	PFPeS	2706-91-4	101	60	0,3	0,3	0,3	1,2	32,0

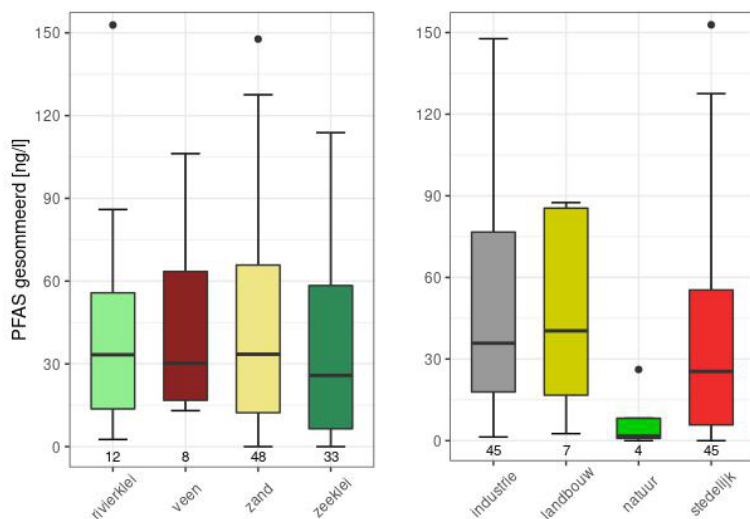
¹⁾ 50 en 95 percentielwaarde van de metingen

Uit Figuur 4.1 is op te maken dat vooral PFOA lineair, PFBA en PFBS in concentraties boven de rapportagegrens worden aangetroffen. Ditzelfde beeld blijkt uit Tabel 4.2 waar te zien is dat deze stoffen ook het vaakst werden aangetroffen. Tabel 4.2 laat zien dat 11% van de metingen van PFOA lineair, 15% van de metingen van PFBA en 11% van de metingen van PFBS lager is dan de rapportagegrens. Dit betekent dat 89% (PFOA lineair), 85% (PFBA) en 89% (PFBS) van de metingen hoger is dan de rapportagegrens. Daar tegenover staat dat 99% van de metingen van 8:2 DiPAP, 95% van de metingen van PFDA en 94% van de metingen van PFHpS lager is dan de rapportagegrens en juist het minst vaak worden aangetroffen. De hoogste concentraties worden toegeschreven aan PFOS (lineair 960 en vertakt 820 ng/l), PFHxS (300 ng/l) en PFPeA (110 ng/l) al zijn dit nadrukkelijk uitschieters.

Om een indruk te geven van de gecombineerde aanwezigheid van PFAS is een gesommeerde PFAS parameter berekend (Figuur 4.2). Voor deze gesommeerde parameter zijn de individuele metingen boven de rapportagegrens op één locatie bij elkaar opgeteld. Voor de PFAS met concentraties beneden de rapportagegrens is een waarde van 0 gebruikt. Merk op dat de opgetelde concentraties PFAS geen indicatie vormen van het gesommeerde effect van PFAS op mens of milieu. Daarvoor is een toetsing aan zogenoemde risicogrenzen nodig, dit vormt geen onderdeel van dit rapport. In RIVM (2021) wordt ingegaan wijze waarop PFAS in samenhang aan risicogrenzen getoetst kunnen worden.

In Figuur 4.2 is de verdeling van deze parameter weergegeven per bodemtype en -gebruik. Uit de figuur blijkt dat er *in deze dataset* geen duidelijk verband bestaat tussen totale PFAS belasting en het bodemtype. De mediaan ligt voor alle bodemtypes rond de 30 ng/l.

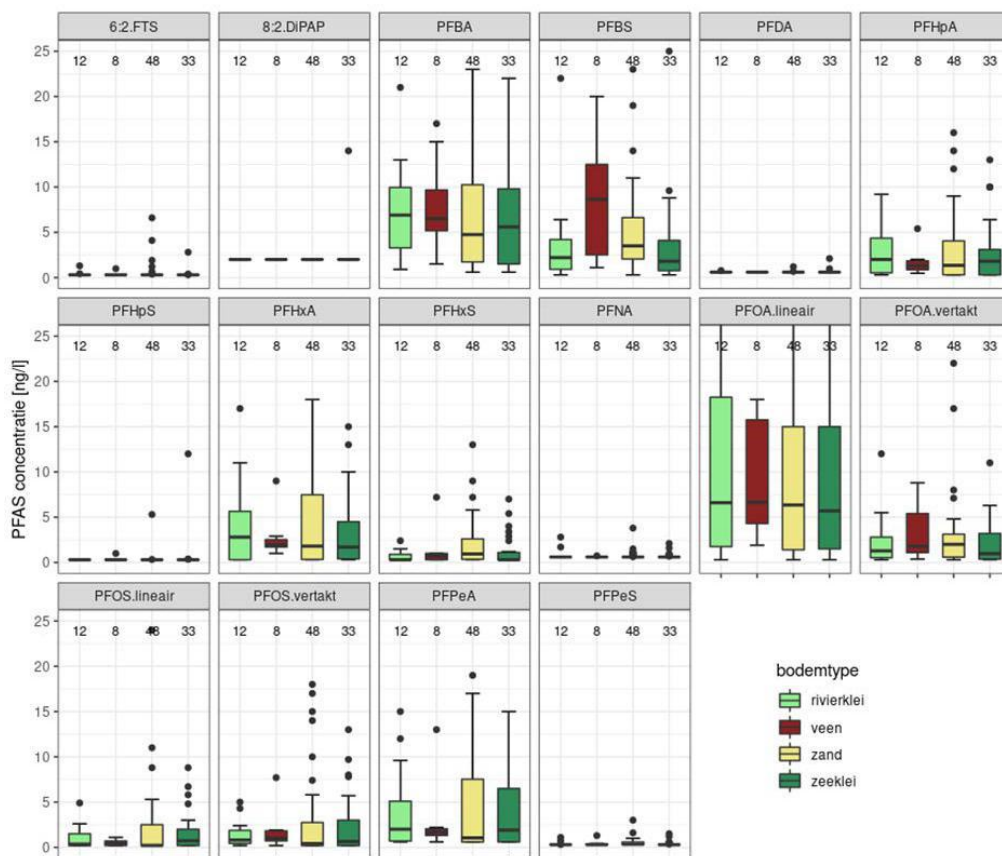
De mediane waarden bij alle typen bodemgebruik liggen eveneens rond de 30 ng/l met uitzondering van natuur, waarbij voor deze laatste het aantal waarnemingen slechts 4 bedraagt. De spreiding in de berekende gesommeerde PFAS concentraties bedraagt 0 tot zo'n 90-150 ng/l. Opmerkt moet worden dat de groepsgroottes voor landbouw en natuur beperkt zijn in vergelijking tot industrie en stedelijk net als voor bodemtypes rivierklei en veen in vergelijking tot zand en zeeklei.



Figuur 4.2 Boxplots van gesommeerde PFAS concentraties per bodemtype (l) en bodemgebruik (r). De getallen onder de boxplots geven het aantal meegenomen metingen weer.

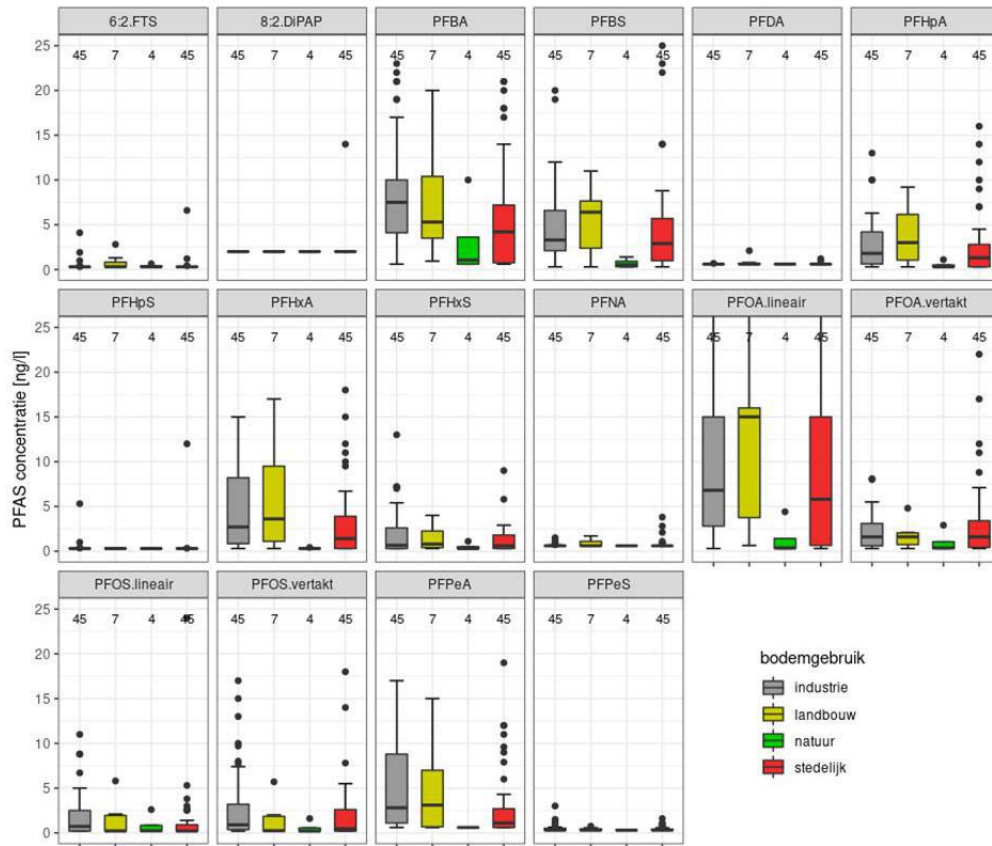
4.1.2 Voórkomen van verschillende PFAS

In deze paragraaf wordt ingegaan op het voorkomen van individuele PFAS en de verspreiding over verschillende bodem- en bodemgebruiken. In Figuur 4.3 zijn voor de 16 aangetroffen PFAS in het freatische grondwater boxplots weergegeven per bodemtype. Wederom zijn hier de concentraties PFOA lineair, PFBA en PFBS het hoogst. Uit deze resultaten is geen duidelijk verband tussen verhoogde concentraties en een specifiek bodemtype af te leiden.



Figuur 4.3 Boxplots van aangetroffen PFAS per bodemtype. De metingen lager dan de rapportagegrens zijn gelijkgesteld aan de rapportagegrens. De getallen boven de boxplots geven het aantal meegenomen metingen weer.

In Figuur 4.4 zijn de gemeten concentraties voor de aangetroffen PFAS uitgezet per bodemgebruik, waarbij het algemene beeld uit Figuur 4.2 dat in natuurgebieden concentraties het laagst zijn terug te zien is voor de meeste individuele PFAS die meetbaar zijn.



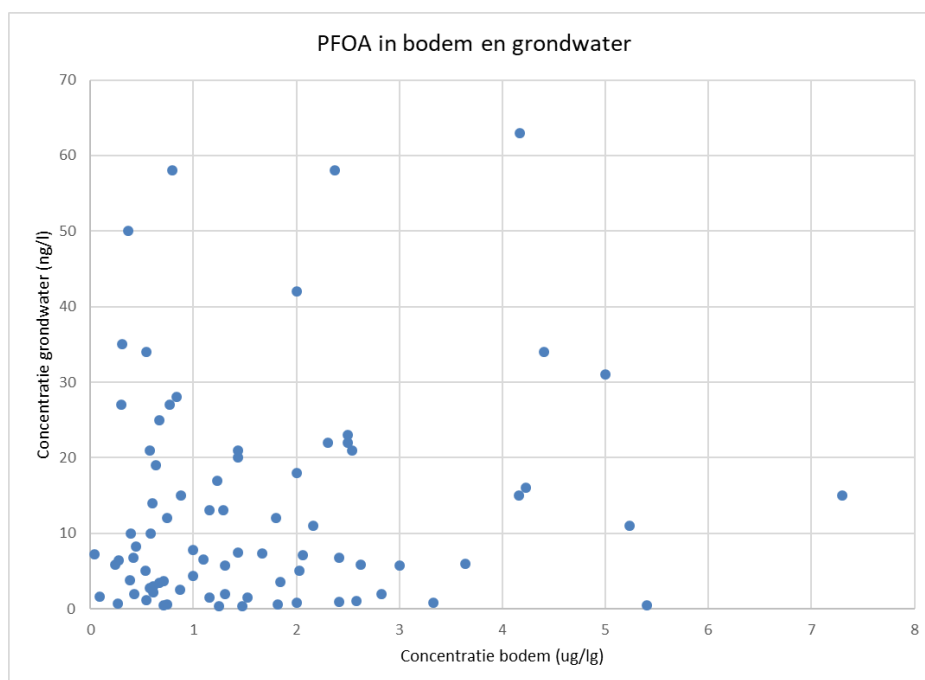
Figuur 4.4 Boxplots aangetroffen PFAS per bodemgebruik. De metingen lager dan de rapportagegrens zijn gelijkgesteld aan de rapportagegrens. De getallen boven de boxplots geven het aantal waarnemingen weer.

4.2 Relatie tussen PFAS concentraties in freatisch grondwater en in bodem

Het aantal PFAS verbindingen uit het analysepakket dat zowel in bodem als in freatisch grondwater boven de rapportagegrens werd aangetroffen, is beperkt. Dit komt overeen met de bevindingen van het onderzoek naar uitloging van PFAS uit verschillende veldmatrices (Wintersen et al., 2020a). Hierin werd geconcludeerd dat de PFAS met korte ketenlengtes (<C8) zich overwegend in de waterfase bevinden terwijl PFAS met langere ketenlengtes (>C8) juist overwegend aan de vaste matrix zijn gebonden. PFAS met ketenlengtes van 8 koolstofatomen (PFOS, PFOA) bevinden zich zowel in de waterfase en zijn gebonden aan de vaste matrix. Tabel 4.3 toont welke stoffen in voldoende mate in beide fasen zijn aangetoond om een verdere analyse van de relatie tussen totaalgehalten in bodem en concentraties in grondwater mogelijk te maken.

Tabel 4.3 Stoffen aangetoond in zowel bodem als grondwater

Stof	Aantal
Perfluorbutaanzuur (PFBS)	19
Perfluorheptaanzuur (PFHpS)	21
Perfluorhexaanzuur (PFHxS)	25
Lineair perfluoroctaansulfonzuur (L-PFOS)	51
Lineair perfluoroctaanzuur (L-PFOA)	80
Perfluorpentaanzuur (PFPeA)	20
Som vertakte PFOS-isomeren (PFOS-tak)	35



Figuur 4.5 Relatie tussen waarnemingen van lineair PFOA in bodem en grondwater op corresponderende locaties. Op de concentraties PFOA in bodem is de bodemtypecorrectie op basis van 10% organisch stof toegepast.

Figuur 4.5 zet de waargenomen concentraties van PFOA in bodem uit tegen de waarnemingen in grondwater op corresponderende locaties. Op basis van de beperkte correlatie tussen PFOA waarnemingen in bodem en grondwater, valt te concluderen dat een verdere verkenning van een eventuele relatie op basis van deze dataset niet zinvol is. Toepassing van een correctie voor het gemeten gehalte organisch stof in bodem geeft een marginaal betere correlatie, maar nog altijd onvoldoende om van een overtuigende relatie te kunnen spreken. Voor de overige stoffen uit Tabel 4.3 geldt een vergelijkbaar beeld. In Hoofdstuk 5 worden deze resultaten verder bediscussieerd.

4.3 Ondiep en middeldiep grondwater (LMG)

4.3.1

Belasting van het ondiepe en middeldiepe grondwater met PFAS

Van de 30² PFAS-componenten die zijn geanalyseerd zijn er 13 teruggevonden in het grondwater. De betreffende PFAS componenten zijn opgenomen in tabel 4.4. Deze tabel laat op hoofdlijnen de verschillen zien tussen jong en oud grondwater en zoet en zout grondwater. In jong grondwater is in 70% van de putfilters en in 15% van de metingen PFAS gevonden boven de rapportagegrens (zie ook Figuren 4.6 en 4.7). In oud grondwater liggen deze percentages beduidend lager. In 22% van de putfilters in oud grondwater is PFAS gevonden boven de rapportagegrens en in 3% van de metingen.

In zoet grondwater is in 53% van de putfilters en in 10% van de metingen PFAS boven de rapportagegrens gevonden. Ook hier geldt dat de percentages beduidend lager liggen in zout/brak grondwater. In 30% van de putfilters in zout/brak grondwater is PFAS gevonden boven de rapportagegrens en in 7% van de metingen.

Voor de verschillende strata geldt dat de hoogste percentages worden gevonden in jong/brak grondwater (86% van de putfilters en 17% van de metingen). Hierbij wordt opgemerkt dat in dit stratum het aantal bemonsterde putfilters laag is (aantal putfilters is 7) waardoor het resultaat een grotere onzekerheid heeft vergeleken met de andere strata. In jong/zoet grondwater geldt dat in 68% van de putfilters en in 14% van de metingen PFAS wordt gevonden. Deze percentages zijn duidelijk lager voor oud/zoet en oud/brak grondwater. In 30% van de putfilters oud/zoet en in 6% van de putfilters oud/brak wordt PFAS aangetroffen. Voor zowel oud/zoet als oud/brak wordt in slechts 3% van de metingen PFAS boven de rapportagegrens gevonden.

Tabel 4.4 Verdeling gemeten putfilters naar filterdiepte, grondwaterouderdom, watertype en strata (combinatie watertype en ouderdom).

Kenmerk	Indeling	Aantal put-filters	% PFAS ¹	% >RG ²	Aantal PFAS >RG ³	PFAS stoffen
Filter	1	49	63%	14%	13	6:2.FTS, PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS
	2	2	50%	8%	5	PFBA, PFBS, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.vertakt
	3	49	33%	4%	11	PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS

² Het aantal van 30 componenten bevat een uitsplitsing naar lineair en vertakt PFOS en PFOA

Kenmerk	Indeling	Aantal put-filters	% PFAS ¹	% >RG ²	Aantal PFAS >RG ³	PFAS stoffen
Ouderdom	Jong	54	70%	15%	13	6:2.FTS, PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS
	Oud	46	22%	3%	13	6:2.FTS, PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS
Watertype	Zoet	77	53%	10%	13	6:2.FTS, PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS
	Brak/zout	23	30%	7%	13	6:2.FTS, PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS
Strata	Jong-zoet	47	68%	14%	12	PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS
	Oud-zoet	30	30%	3%	10	6:2.FTS, PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA
	Jong-brak	7	86%	17%	10	6:2.FTS, PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.vertakt, PFPeA
	Oud-brak	16	6%	3%	13	6:2.FTS, PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFOA.lineair, PFOA.vertakt, PFOS.lineair, PFOS.vertakt, PFPeA, PFPeS

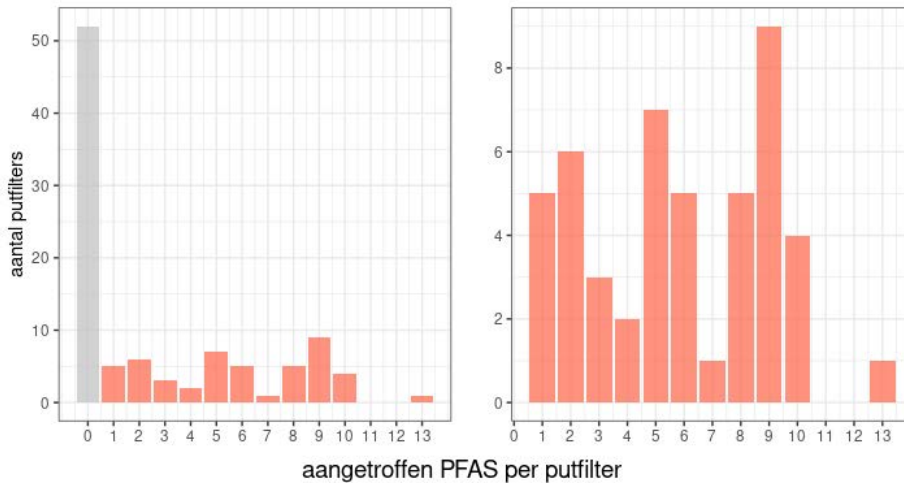
¹ percentage putfilters waar PFAS is aangetroffen >RG;

² percentage metingen PFAS doelstoffen waar de concentratie >RG is;

³ aantal PFAS stoffen aangetroffen >RG.

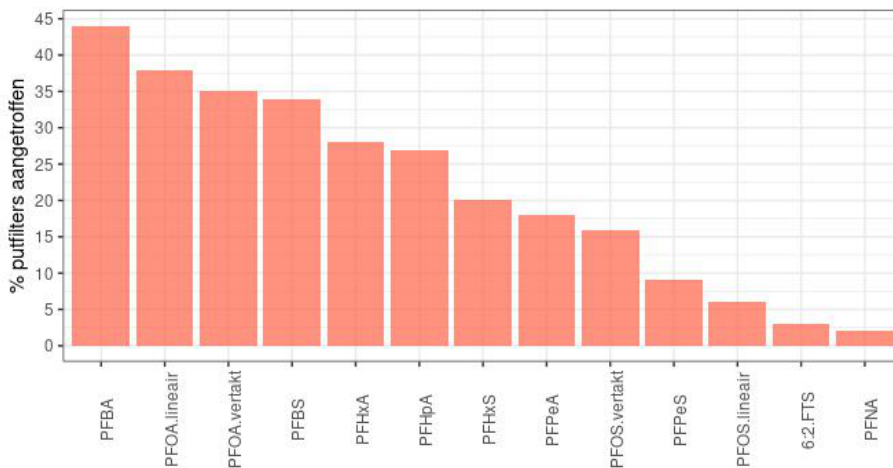
In Figuur 4.6 is het aantal PFAS weergegeven dat tegelijkertijd in de verschillende putfilters werd aangetroffen. Deze figuur laat zien dat er in ruim 50 van de 100 filters geen PFAS zijn aangetroffen boven de rapportagegrens. In de overige filters is in 5 filters uitsluitend 1 PFAS

component aangetroffen. Het aantal putfilters waarin meer dan 1 PFAS is aangetroffen varieert van 2 tot 13. In 9 putfilters zijn bijvoorbeeld tegelijkertijd 9 PFAS boven de rapportagegrens aangetroffen.



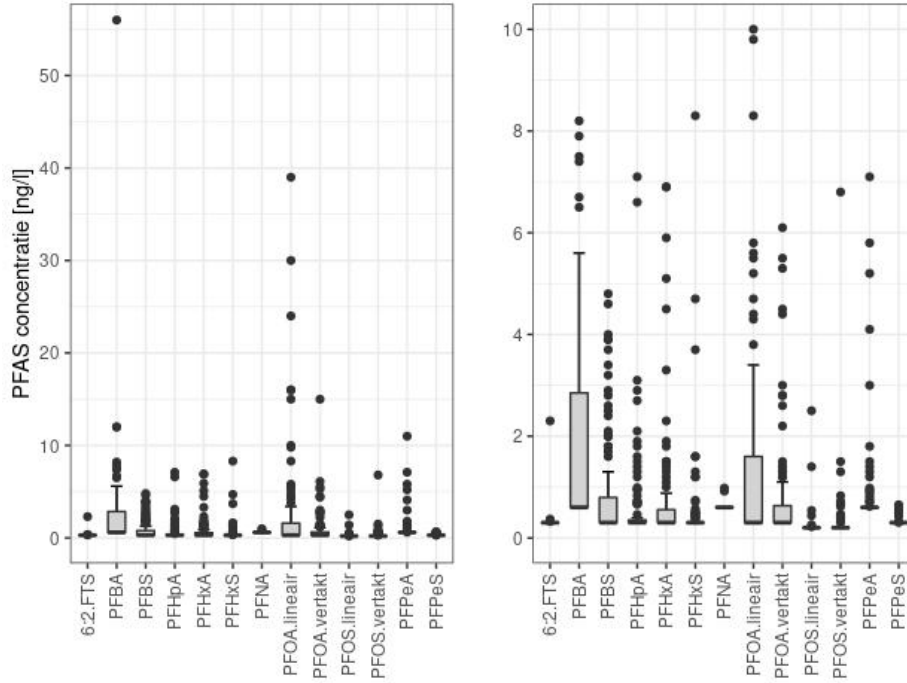
Figuur 4.6 Aantal aangetroffen PFAS per aantal putfilters (l) met zoom-in voor putfilters waarin 1 of meer PFAS zijn aangetroffen (r).

In Figuur 4.7 is per aangetroffen PFAS aangegeven in welk percentage putfilters deze is aangetroffen. PFBA is bijvoorbeeld aangetroffen in 44% van de putfilters, terwijl PFNA slechts aangetroffen is in 2% van de putfilters.



Figuur 4.7. Percentage putfilters waar een bepaalde PFAS is aangetroffen.

Vervolgens is in Figuur 4.8 de verdeling van de aangetroffen concentraties van de verschillende PFAS weergegeven middels boxplots.



Figuur 4.8 Boxplot aangetroffen PFAS in LMG. De metingen onder de rapportagegrenzen zijn gelijkgesteld aan de rapportagegrens. Rechts is een zoom-in. Voor alle stoffen geldt n = 100.

Tabel 4.5 Statistieken van aangetroffen PFAS (>RG) in het LMG met concentraties in ng/l. In totaal zijn 13 van de 30 geanalyseerde PFAS aangetroffen in bemonsterd ondiep en middeldiep grondwater.

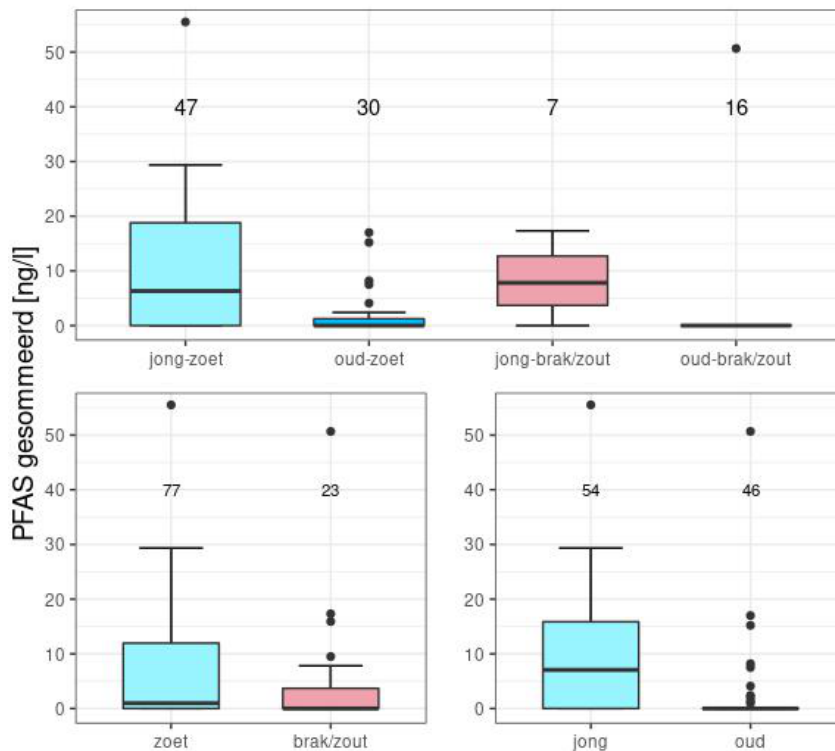
ID	PFAS	PFAS code	CAS-nummer	n	% <RG	RG [ng/l]	Metingen [ng/l]			
							min	P50	P95	max
1	6:2.FTS.(6:2.fluortelomeer.sulfonzuur)	6:2.FTS	27619-97-2	100	97	0,3	0,3	0,3	0,30	2,30
2	PFBA.(perfluorbutaanzuur)	PFBA	375-22-4	100	56	0,6	0,6	0,6	7,52	56,0
3	PFBS.(perfluorbutaansulfonzuur)	PFBS	375-73-5	100	66	0,3	0,3	0,3	3,71	4,80
4	PFHpA.(perfluorheptaanzuur)	PFHpA	375-85-9	100	73	0,3	0,3	0,3	2,13	7,10
5	PFHxA.(perfluorhexaanzuur)	PFHxA	307-24-4	100	72	0,3	0,3	0,3	3,36	6,90
6	PFHxS.(perfluorhexaansulfonzuur)	PFHxS	355-46-4	100	80	0,3	0,3	0,3	1,31	8,30
7	PFNA.(perfluornonaanzuur)	PFNA	375-95-1	100	98	0,6	0,6	0,6	0,60	0,98
8	PFOA.lineair.(perfluoroctaanzuur)	PFOA.lineair	335-67-1	100	62	0,3	0,3	0,3	15,05	39,0
9	PFOA.vertakt.(perfluoroctaanzuur)	PFOA.vertakt	-	100	65	0,3	0,3	0,3	4,41	15,0
10	PFOS.lineair.(perfluoroctaansulfonzuur)	PFOS.lineair	1763-23-1	100	94	0,2	0,2	0,2	0,22	2,50
11	PFOS.vertakt.(perfluoroctaansulfonzuur)	PFOS.vertakt	-	100	84	0,2	0,2	0,2	0,70	6,80
12	PFPeA.(perfluorpentaanzuur)	PFPeA	2706-90-3	100	82	0,6 – 3,0	0,6	0,6	3,05	11,0
13	PFPeS.(perfluorpentaansulfonzuur)	PFPeS	2706-91-4	100	91	0,3	0,3	0,3	0,49	0,65

Figuur 4.8 laat zien dat met name PFBA en PFOA-lineair in verhoogde concentraties werden aangetroffen als naar alle filters gezamenlijk wordt gekeken.

Tabel 4.5 geeft de statistieken behorende bij de boxplots in Figuur 4.8 weer. Hieruit is op te maken dat voor PFBA (7,5 ng/l), PFBS (3,7 ng/l), PFOA lineair (15 ng/l), PFOA vertakt (4,4 ng/l) de hoogste P95 waarden werden aangetroffen.

Om een indruk te geven van de gecombineerde belasting van PFAS in de verschillende strata (combinaties van grondwaterleeftijd en -type) als ook het onderscheid tussen de strata, is een gesommeerde PFAS parameter berekend. Belangrijk om hierbij aan te geven is dat de gesommeerde PFAS concentraties geen indicatie vormen voor het risico van de PFAS belasting van het grondwater. Zie ook de opmerking hierover in Paragraaf 4.1.1.

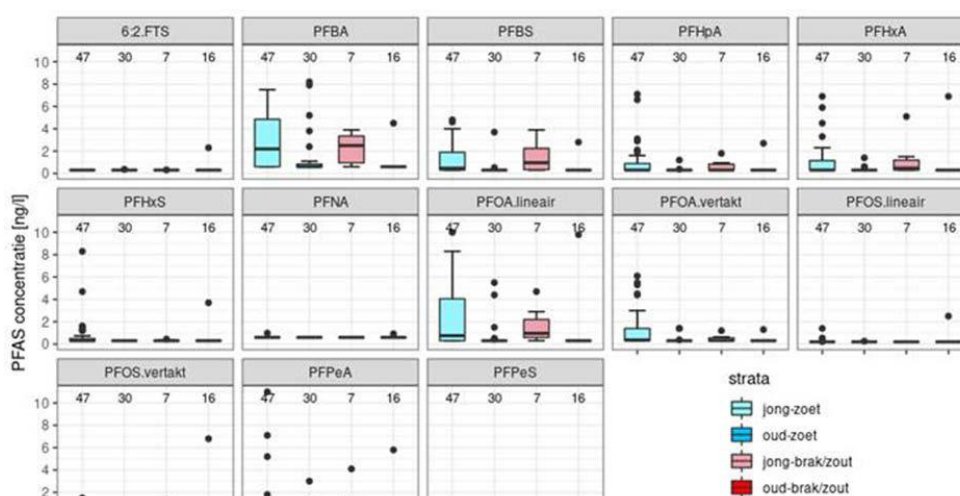
Voor deze som parameters zijn de aangetroffen PFAS concentraties bij elkaar opgeteld. Voor de PFAS met concentraties lager dan de rapportagegrens is een waarde van 0 gebruikt. In Figuur 4.9 wordt de verdeling van deze som parameter binnen de verschillende strata weergegeven d.m.v. boxplots. Deze figuur bevestigt het beeld dat in jong en zoet grondwater in het algemeen hogere PFAS concentraties worden aangetroffen dan in oud en zout grondwater.



Figuur 4.9 Boxplots van gesommeerde PFAS concentratie in het LMG per strata (b), watertype (l) en leeftijd (r). De getallen boven de boxplots geven het aantal meegenomen waarden weer.

4.3.2 Voorkomen van verschillende PFAS

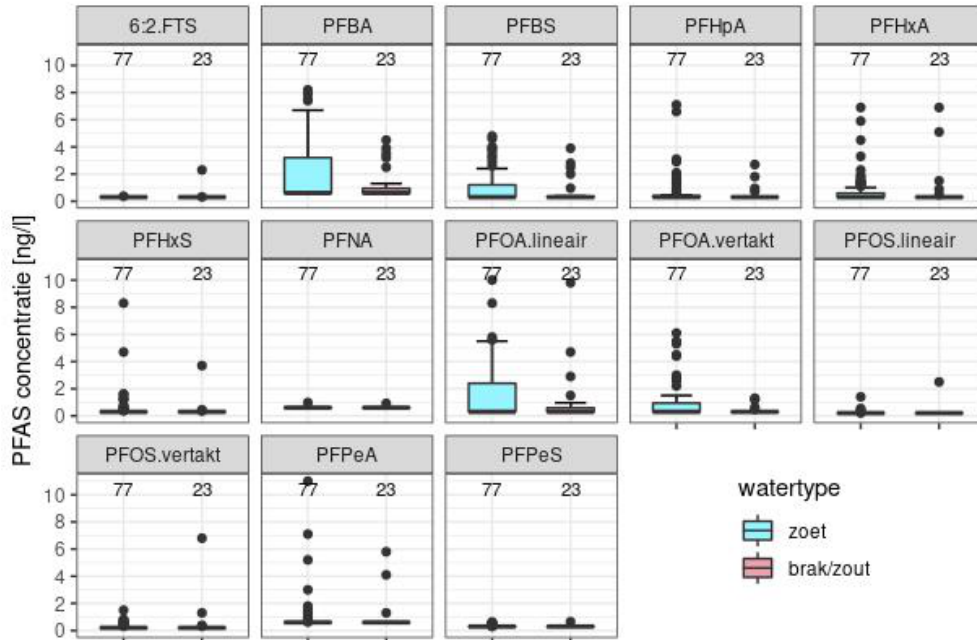
In deze paragraaf wordt vervolgens ingaan op het vóórkomen van individuele PFAS in de verschillende typen grondwater. In Figuur 4.10 zijn voor de 13 PFAS die zijn aangetroffen boven de rapportagegrens boxplots weergegeven. Deze boxplots laten zien dat met name PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFOA-lineair en PFOA-vertakt voorkomen. Deze verhoogde concentraties komen met name voor in jong-zoet en jong-brak/zout grondwater. Voor de overige stoffen geldt dat ze maar beperkt worden aangetroffen in concentraties boven de rapportagegrens.



Figuur 4.10 Boxplots aangetroffen stoffen per stratum. De metingen lager dan de rapportagegrens zijn gelijkgesteld aan de rapportagegrens. De getallen boven de boxplots geven het aantal meegenomen metingen weer. Voor iedere stof zijn de strata van links naar rechts: jong-zoet, oud-zoet, jong-brak/zout en oud-brak/zout.

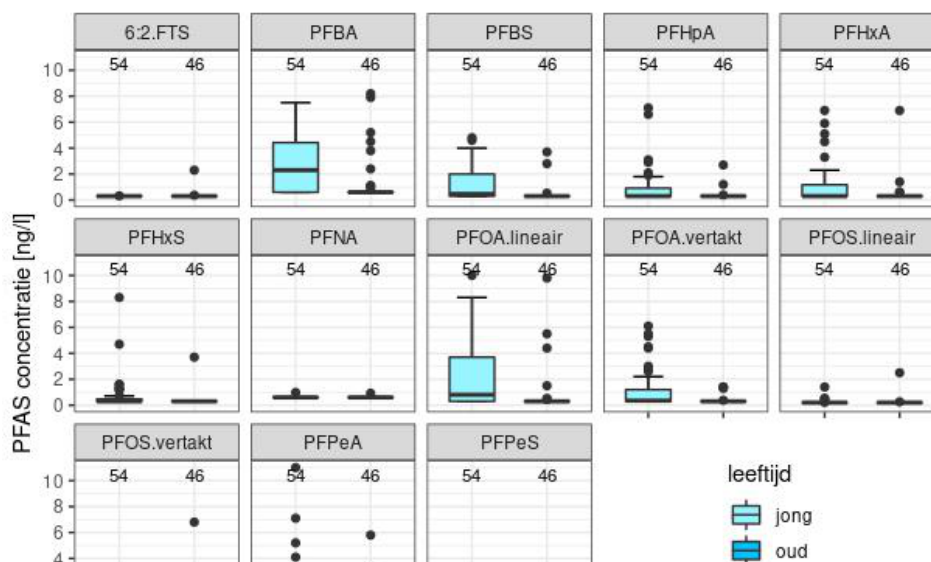
Voor PFBA, PFOA-lineair en PFOA-vertakt geldt dat de concentraties het hoogst zijn in jong-zoet grondwater. Voor PFBS, PFHpA en PFHxA zijn de concentraties in jong-zoet grondwater en jong-zout/brak grondwater van dezelfde orde van grootte. Ook hierbij wordt opgemerkt dat het aantal filters in jong-brak/zout beperkt is (aantal putfilters is 7) waardoor het resultaat als indicatief moet worden beschouwd.

In Figuur 4.11 zijn voor dezelfde PFAS de boxplots weergegeven waarbij onderscheid wordt gemaakt in zoet en brak/zout grondwater. Deze figuur laten zien dat PFBA, PFBS, PFOA-lineair en PFOA-vertakt met verhoogde concentraties voorkomen in zoet grondwater. De andere PFAS-componenten komen maar beperkt voor in verhoogde concentraties. In het brak/zout grondwater komen verhoogde concentraties in zijn geheel maar beperkt voor.



Figuur 4.11 Boxplots aangetroffen stoffen per watertype. De metingen lager dan de rapportagegrens zijn gelijkgesteld aan de rapportagegrens. De getallen boven de boxplots geven het aantal meegenomen metingen weer.

Figuur 4.12 geeft met behulp van boxplots voor dezelfde PFAS een overzicht van de aangetroffen concentraties in jong en oud grondwater. Deze figuren laten zien dat met name PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFOA-lineair en PFOA-vertakt in verhoogde concentraties worden aangetroffen. De andere PFAS-componenten worden maar beperkt aangetroffen in verhoogde concentraties. In het oude grondwater komen verhoogde concentraties in zijn geheel maar beperkt voor.



Figuur 4.12 Boxplots aangetroffen stoffen per grondwaterleeftijd. De metingen lager dan de rapportagegrens zijn gelijkgesteld aan de rapportagegrens. De getallen boven de boxplots geven het aantal meegenomen metingen weer.

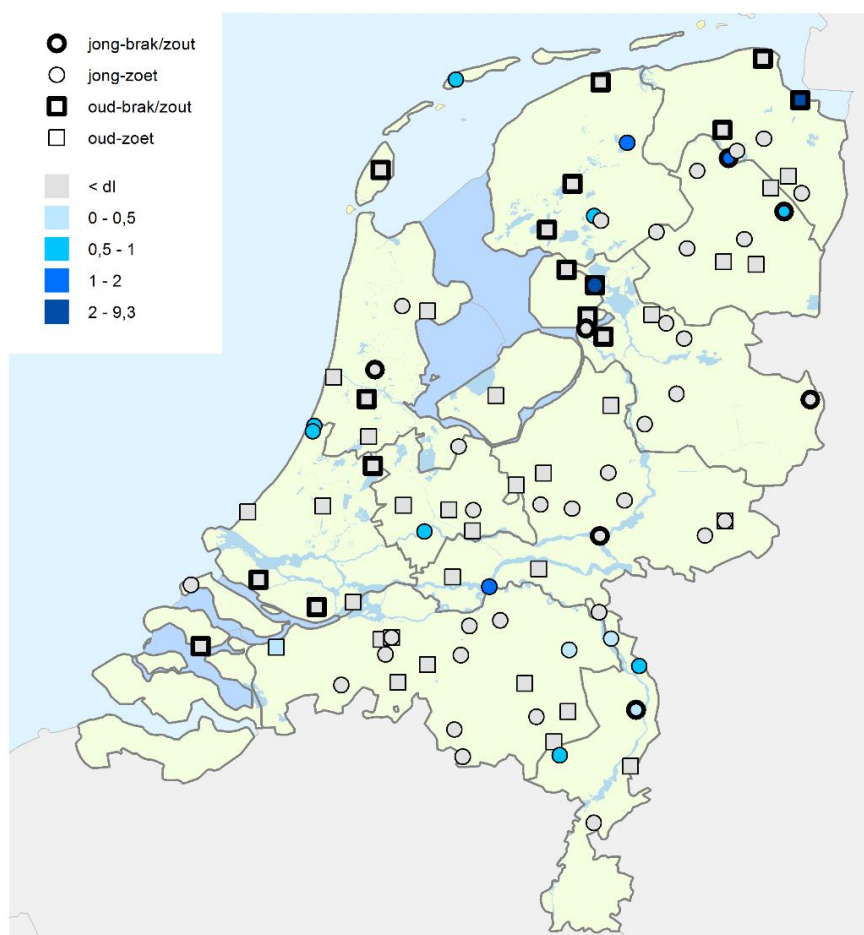
4.3.3 Ruimtelijke weergave

In Bijlage 4 zijn voor de stoffen die in minstens 20% van de monsters boven de rapportagegrens werden aangetroffen, de meetlocaties met bijbehorende concentraties ruimtelijk weergegeven.

De kaarten in Bijlage 4 laten zien dat PFAS verspreid over Nederland in zowel het freatisch als in het ondiepe (10 m-mv) en middeldiepe (25 m-mv) grondwater boven de rapportagegrens zijn aangetroffen. Voor een aantal PFAS zijn de gemeten concentraties in het freatisch grondwater in het noorden en oosten van Nederland lager dan in andere delen van het land. Dit geldt ook voor het aantal waarnemingen boven de rapportagegrens. Een ruimtelijk concentratieverloop zoals bijvoorbeeld is waargenomen voor de stof PFOA in de bodem (Wintersen et al., 2020b) is in deze dataset niet aangetoond.

Op de kaarten met waarnemingen uit het LMG is per monsterpunt met een symbooltype onderscheid gemaakt tussen jong en oud en tussen zoet en brak/zout grondwater (voorbeeld: Figuur 4.13). Hierbij wordt opgemerkt dat het meetnet is ingericht om op gebiedsniveau uitspraken te doen over mediane concentraties (zie ook paragraaf 2.3). In deze studie is ervoor gekozen om niet de gangbare gebiedsindeling van het LMG te volgen maar uitsluitend onderscheid te maken in jong en oud en zoet en brak/zout grondwater en voor deze typen grondwater de mediane concentraties te berekenen. Het weergeven van de aangetroffen concentraties op een individuele locatie geeft een indruk van de ruimtelijke spreiding maar zegt verder weinig over de lokale situatie van een meetlocatie. Daarvoor is dit meetnet niet ingericht. Bovendien betreft het een momentopname zonder langdurige meetreeks zoals in het LMG gebruikelijk is.

Waarnemingen som-PFOS in LMG



Figuur 4.13 Concentraties som-PFOS in het LMG. Klasse '<dl' duidt op waarnemingen onder rapportagegrens (ook op de hieropvolgende kaarten). Concentraties in ng/l.

4.4 Samenhang aanwezigheid van verschillende PFAS

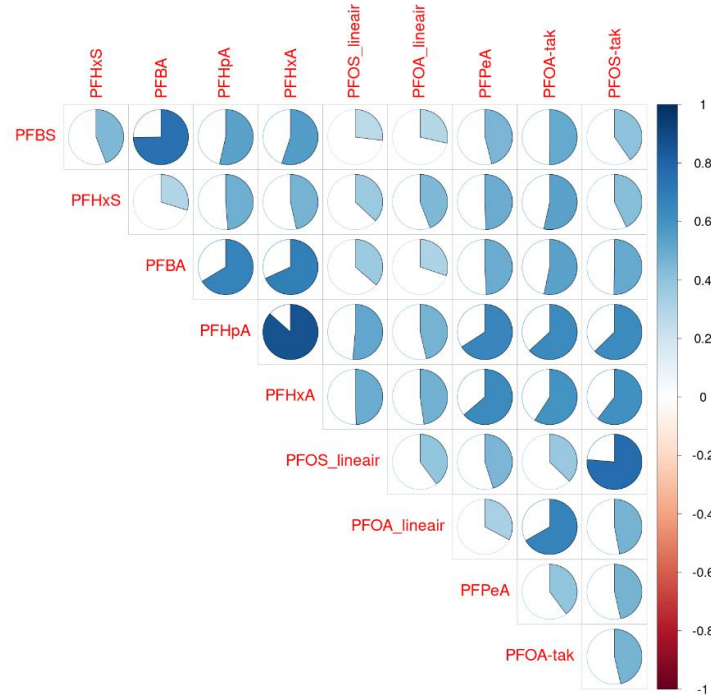
In deze paragraaf wordt ingegaan op de samenhang tussen de concentraties van verschillende PFAS en hun aantoonbaarheid. Hiervoor zijn statistische analyses uitgevoerd op de datasets voor het Freatisch grondwater en het ondiep en middeldiep grondwater (LMG). De analyses zijn gebaseerd op de analyses die eerder zijn uitgevoerd voor het bepalen van de achtergrondwaarden PFAS in bodem (Wintersen et al, 2020). Voor deze analyses zijn de verbindingen meegenomen die in meer dan 25% van de metingen boven de rapportagegrens zijn aangetroffen. Voor het Freatisch grondwater was dit voor 10 stoffen het geval, voor het Ondiep en middeldiep grondwater was dit voor 6 stoffen het geval.

4.4.1

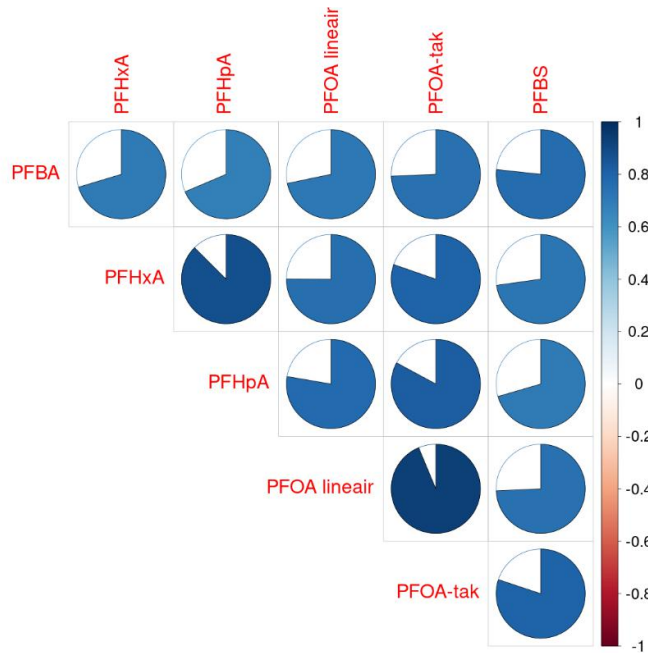
Correlatie tussen concentraties van verschillende PFAS

Om een beeld te krijgen van de samenhang van de aantoonbaarheid tussen de verschillende PFAS componenten is een correlatie van de aantoonbaarheid tussen de verschillende PFAS stoffen berekend. Een stof is aantoonbaar wanneer deze gemeten is boven de rapportagegrens. De aantoonbaarheid is vertaald in een binaire indicator (wel/niet aantoonbaar) alvorens de Inter Quantile Range (IQR) berekend is voor de PFAS componenten. De IQR geeft aan wat het verschil is tussen het 25e en 75e percentiel. Wanneer de IQR 0 is, zijn minder dan 25% van de meetwaarden boven rapportagegrens en zijn de metingen niet beschouwd in de analyse. Voor de stoffen waarvoor de $IQR > 0.1$ is, is vervolgens een correlatie berekend met behulp van de "Spearman's rank correlation coefficient" methode (Springer NY, 2008). De statistische betekenis van de hoogte van de correlatiecoëfficiënt is beperkt, mede vanwege het grote aantal metingen onder rapportagegrens.

In Figuur 4.14 is de correlatie op aantoonbaarheid tussen de verschillende PFAS componenten in (a) het Freatisch grondwater en (b) het ondiep en middeldiep grondwater weergegeven. Zo is te zien dat voor het freatisch grondwater de aantoonbaarheid van PFHpA en PFHxA geassocieerd zijn. Hetzelfde geldt voor de combinaties van PFOA lineair en PFOS lineair met hun respectievelijke vertakte isomeren, alsmede de combinatie van PFHxS en PFBA. Voor het ondiep en middeldiep grondwater is te zien dat enkel de mobielere PFAS verbindingen een correlatie berekend kon worden. Alleen deze PFAS verbindingen zijn in meer dan 25% van de metingen boven rapportagegrens aangetoond. Daarnaast laat de figuur zien dat de aantoonbaarheid van de mobielere PFAS verbindingen onderling verbanden vertoont. Deze associatie is het sterkste tussen de combinatie PFOA-lineair en PFOA-vertakt en de combinatie PFHxA en PFHpA.



Figuur 4.14a Berekende correlatie op aantoonbaarheid tussen verschillende PFAS componenten in het Freatisch grondwater (N=101). De grootte en de kleur van de taartdiagrammen geven de hoogte van de correlatiecoëfficiënten weer.



Figuur 4.14b Berekende correlatie op aantoonbaarheid tussen verschillende PFAS componenten in het Ondiep en middeldiep grondwater (N=100). De grootte en de kleur van de taartdiagrammen geven de hoogte van de correlatiecoëfficiënten weer.

5 Conclusies en discussie

5.1 Conclusies

5.1.1 *Algemeen beeld uit grondwateronderzoek PFAS*

Dit onderzoek laat zien dat PFAS zowel in freatisch als in ouder en dieper gelegen grondwater worden aangetroffen. Er is sprake van een duidelijke relatie tussen de concentraties en aantallen aangetroffen PFAS en reistijd van het grondwater. De hoogste concentraties en de meeste waarnemingen boven de rapportagegrens worden aangetroffen in het freatisch grondwater dat zich direct onder de grondwaterspiegel bevindt. Dit grondwater wordt het meest direct beïnvloed door de bodem. Opgemerkt wordt dat dit een selecte steekproef betreft van potentieel verdachte locaties. De laagste concentraties en de geringste aantallen waarnemingen boven de rapportagegrens worden aangetroffen in de putfilters van het LMG die vallen in de categorie (stratum) 'oud grondwater'. Over het algemeen zijn dit ook de dieper gelegen putfilters (25 m-mv). De putfilters met jong en doorgaans ondiep grondwater (~10 m) vormen een tussencategorie. Voor dit grondwater geldt dat in de meerderheid van de filters (70 %) PFAS is aangetroffen. In de putfilters uit het LMG die zijn ingedeeld als 'zoet' zijn de concentraties PFAS hoger en worden ook meer PFAS boven de rapportagegrens aangetroffen dan in de filters met brak of zout grondwater.

5.1.2 *Relatie tussen concentraties in bodem en concentraties in freatisch grondwater*

In dit onderzoek werd geen relatie gevonden tussen waarnemingen van PFAS in de bodem en waarnemingen in het freatisch grondwater. Naar verwachting betekent dit voor de praktijk dat ook op andere plekken de invloed van geringe concentratieverschillen tussen diffuus belaste bodems niet leidt tot meetbare verschillen in de grondwaterkwaliteit. De discussie gaat nader in op de mogelijke verklaringen hiervoor.

5.2 Discussie

5.2.1 *Representativiteit van metingen en achtergrondwaarden PFAS in grondwater*

De locaties voor de bemonstering van het freatisch grondwater zijn zo geselecteerd dat de kans om PFAS in zowel de bodem als in het grondwater aan te treffen het grootst is. Daarmee is er geen sprake van een landsdekkend beeld van het freatisch grondwater en hebben de uitkomsten voor individuele strata hooguit een indicatief karakter.

Zowel de freatische metingen als de metingen in het LMG zijn ruimtelijk wel evenwichtig verdeeld over Nederland en daarmee zouden evident ruimtelijke patronen in beeld kunnen komen. Op basis van dit onderzoek zijn ruimtelijke patronen niet zichtbaar. Een duidelijk verband wordt bijvoorbeeld wel gevonden tussen waarnemingen PFOA in de bovengrond en de afstand tot Dordrecht in het achtergrondwaardenonderzoek PFAS in bodem (Wintersen et al., 2020b).

De selectie van locaties uit het LMG is er wel op gericht om een representatieve afspiegeling te vormen van de onderscheiden strata: oud/jong en brak, zout/zoet. Daarmee is de dataset in principe geschikt om achtergrondwaarden³ voor PFAS af te leiden op basis van een percentielwaarde uit de verdelingen van waarnemingen. Omdat achtergrondwaarden van antropogene stoffen, in tegenstelling tot het beleid voor hergebruik van bagger en bodem, in het grondwaterbeleid geen rol hebben en de afleiding ervan ook niet is uitgewerkt, zijn in het kader van dit rapport nu nog geen achtergrondwaarden bepaald.

5.2.2 *Resultaten grondwateronderzoek in relatie tot historische belasting bodem en verwachtingen voor toekomstige ontwikkeling grondwaterkwaliteit*

Het beeld dat ontstaat uit dit onderzoek is consistent met wat bekend is over de mobiliteit van individuele PFAS. We zien dat de PFAS met kortere ketenlengtes en de alkylzuren relatief meer mobiel zijn en daardoor ook al zijn doorgedrongen tot relatief ouder en dieper gelegen grondwater. PFAS met ketenlengtes tot en met 8 koolstofatomen hebben allemaal in meer of mindere mate een mobiel karakter en zullen zich op termijn naar verwachting verplaatsen naar dieper gelegen grondwater. De ontwikkeling van de concentraties laat zich op basis van dit onderzoek niet voorspellen. Die is afhankelijk van enerzijds stoffeïenschappen en anderzijds de lokale bodemopbouw en hydrologische situatie. Gegeven de beperkte vrachten in de bodem en de hoge retardatie is niet te verwachten dat PFAS met ketenlengtes boven 8 koolstofatomen in diffuus verontreinigde gebieden in het grondwater zullen worden gevonden. Daarbij is het wel van belang om op te merken dat deze veronderstelling betrekking heeft op eenvoudige volledig gefluoreerde PFAS. Een punt van aandacht zijn de modernere PFAS die nu veelal nog niet geanalyseerd worden. Dit type verbindingen kan door aanwezigheid van etherverbindingen of andere structurele groepen relatief mobiel zijn, ook bij grotere ketenlengtes dan C8.

5.2.3 *PFAS in ouder grondwater*

In het oudere grondwater wordt PFAS slechts beperkt aangetroffen. De filters die in LMG worden geclassificeerd als oud grondwater betreft grondwater dat ouder is dan 25 jaar. In een aantal van deze filters werden PFAS gemeten in concentraties op het niveau van de rapportagegrenzen. Slechts in 1 filter werden hogere concentraties gemeten. Dit filter is gelegen in de buurt van een industriegebied en er kan niet worden uitgesloten dat de gevonden PFAS afkomstig zijn van toestroom van jonger grondwater.

5.2.4 *Relatie tussen gehalten in bodem en concentraties in grondwater*

Zoals hierboven beschreven passen de resultaten van dit onderzoek in het beeld van een diffuse belasting van de bodem met stoffen die in meer of mindere mate een mobiel karakter hebben. Het was in dit onderzoek echter niet mogelijk om lokaal een relatie tussen gehalten in de bodem en in het freatisch grondwater aan te tonen. Hiervoor zijn een aantal verklaringen mogelijk:

³ Met achtergrondwaarden wordt hier verwezen naar diffuse concentraties stoffen ongeacht de herkomst. In andere kaders wordt de achtergrondconcentraties van antropogene stoffen per definitie gelijkgesteld aan nul.

- De onderzoeken in bodem en grondwater hebben op verschillende momenten plaatsgevonden en zijn door verschillende partijen uitgevoerd;
- Concentraties in freatisch grondwater worden relatief sterk beïnvloed door factoren zoals neerslag en variaties in de bodemopbouw;
- Ook indien gelijktijdig zou worden gemeten, blijft het een momentopname die geen inzicht biedt in het verloop van de belasting en lokale factoren die de migratie van PFAS vanuit bodem naar het freatisch grondwater beïnvloeden;
- De gemeten PFAS concentraties in diffuus belaste gebieden waren relatief laag waardoor de nauwkeurigheid afneemt. Omdat we met gepaarde metingen te maken hebben weegt dit effect dubbel mee.

Bekend is dat in situaties met een hogere belasting van de bodem (als gevolg van bijvoorbeeld incidenten met blusschuim) wel een duidelijke relatie is met concentraties in grondwater (Expertisecentrum PFAS, 2018).

De resultaten van dit onderzoek laten zien dat concentratieveranderingen in het grondwater als gevolg van het toepassen van diffuus belaste bodem (in de orde grootte van de landelijke achtergrondwaarden voor bodem) waarschijnlijk niet zijn op te merken door eenmalig in het freatisch grondwater te meten. In geval van grotere concentratieverschillen of grote toepassingen (grondverzet) zal het grondwater naar verwachting wel meetbaar beïnvloed worden.

5.2.5 *Samenhang tussen verschillende PFAS componenten in grondwater*
Vanwege de beperkte grootte van de dataset en de aanwezigheid van een groot aantal waarnemingen beneden rapportagegrens was het slechts mogelijk om voor een beperkt aantal PFAS componenten een correlatie te berekenen.

De correlatie op aantoonbaarheid laat zien dat voor het ondiep en middeldiep grondwater de aantoonbaarheid van mobiele PFAS componenten licht gecorreleerd is ($\rho > 0.7$; Figuur 4.14b). Dat wil zeggen dat wanneer één van de in de analyse beschouwde PFAS componenten aangetoond is boven rapportagegrens, andere beschouwde PFAS componenten ook boven rapportagegrens verwacht kunnen worden. Deze samenhang is het sterkste tussen de combinatie van PFHxA met PFHpA, en PFOA lineair met de vertakte PFOA isomeren. In het freatisch grondwater zijn deze correlaties op aantoonbaarheid, afgezien van de bovengenoemde combinaties alsmede de lineaire en vertakte isomeren van PFOS, niet of slechts zwak ($\rho < 0.7$; Figuur 4.14a) aanwezig. De statistische betekenis van de hoogte van de correlatiecoëfficiënt is beperkt, mede vanwege het grote aantal metingen onder rapportagegrens.

In de analyse van de correlatie op aantoonbaarheid in het ondiep en middeldiep grondwater zijn voornamelijk mobielere PFAS te zien. Dit komt omdat enkel deze stoffen in meer dan 25% van de metingen boven rapportagegrens zijn aangetoond. In het freatisch grondwater is daarentegen een uitgebreidere set stoffen in meer dan 25% van de

metingen boven rapportagegrens aangetoond. Dit bevestigt het beeld dat de mobieler PFAS eerder doordringen tot het ondiep en middeldiep grondwater. Daarnaast zijn ook de correlaties op aantoonbaarheid hoger in het ondiep en middeldiep grondwater dan in het freatisch grondwater.

5.2.6

Blik op de toekomst: beter volgen van opkomende stoffen in bodem

De aanwezigheid van PFAS in het grondwater laat zien dat in het relatief recente verleden, persistente mobiele stoffen via de bodem konden doordringen tot in de verzadigde zone. Door in de toekomst actief op zoek te gaan naar nieuwe (groepen van) stoffen in de bodem die mogelijk een bedreiging vormen voor het grondwater kan ook het bodembeleid een bijdrage leveren aan brongerichte maatregelen, door deze stoffen aan het licht te brengen en waar nodig nieuwe emissies zo vroeg mogelijk te beperken of te stoppen.

Het RIVM is gecommitteerd aan de ontwikkeling van een algemene methodiek voor opkomende stoffen in bodem en waterbodem en werkt in opdracht van het Ministerie van IenW samen met deskundigen en belanghebbenden aan belangrijke onderdelen van deze methodiek. Daartoe behoren een signaleringsfunctie, een landsdekkende monitoring en methoden voor een snelle risicobeoordeling van diffuus verspreide stoffen.

Dankwoord

De auteurs bedanken de bij dit project betrokken medewerkers van Synlab Nederland voor het meedenken bij het inrichten en de zorgvuldige uitvoering van het vooronderzoek. Tevens bedanken we de bij dit project betrokken medewerkers van Sweco Nederland voor de tijdige uitvoering van de bemonstering van freatisch grondwater, de begeleiding van de analyses en de rapportage daarover.

Literatuur

- Brusseau, M. L. (2019). The influence of molecular structure on the adsorption of PFAS to fluid-fluid interfaces: Using QSPR to predict interfacial adsorption coefficients. *Water Res*, 152, 148-158.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.057>
- CBS. (2015). *Bestand Bodemgebruik - BBG*. <https://www.cbs.nl/nl-onze-diensten/methoden/classificaties/overig/bestand-bodemgebruik-bbg>
- DIN. (2011). *deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F) - Teil 42: Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Wasser - Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) nach Fest- Flüssig-Extraktion (F 42)*.
<https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/naw/wdc-beuth:din21:137282966>
- Expertisecentrum PFAS. (2018). *Aanwezigheid van PFAS in Nederland Deelrapport B - Onderzoek van PFAS op potentiële risicolocaties*.
<https://www.expertisecentrumpfas.nl/images/Handelingskader/D/DT219-1-18-008.228-rapd-Voorkomen PFAS in Nederland - deelrapport B Verdachte locaties - definitief.pdf>
- Klijn, F. (1988). *Milieubeheersgebieden - Deel A: Indeling van Nederland in ecoregio's en ecodistricten - Deel B: Gevoeligheid van de ecodistricten voor verzuring, vermisting, verontreiniging en verdroging*.
<https://www.rivm.nl/publicaties/milieubeheersgebieden-deel-a-indeling-van-nederland-in-ecoregios-en-ecodistricten-deel>
- Lamé, F. P. J., Brus, D. J., & Nieuwenhuis, R. H. (2004). *Achtergrondwaarden 2000. Hoofdrapport AW2000 fase 1*.
- Li, Y., Oliver, D. P., & Kookana, R. S. (2018). A critical analysis of published data to discern the role of soil and sediment properties in determining sorption of per and polyfluoroalkyl substances (PFASs). *Science of The Total Environment*, 628-629, 110-120.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.167>
- RIVM. (2021). *Notitie implementatie van de EFSA som-TWI PFAS*.
<https://www.rivm.nl/documenten/notitie-implementatie-van-efsa-som-twi-pfas>
- Sjerps, R., Maessen, M., Raterman, B., ter Laak, T., Stuyfzand P. (2017). *Grondwaterkwaliteit Nederland 2015-2016 Chemie grondwatermeetnetten en nulmeting nieuwe stoffen*.
- Sweco. (2020). *Grondwateronderzoek PFAS. Onderzoek naar de gehalten aan PFAS in het grondwater in Nederland*.
- Van der Aa, M., Hartmann, J., & Biesebeek, J. D. t. (2021). *Analyse bijdrage drinkwater en voedsel aan blootstelling EFSA-4 PFAS in Nederland en advies drinkwaterrichtwaarde*.
- Van Duijvenbooden, Gast, L., & Taat, J. (1985). *Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit: 1. eindrapport van de inrichtingsfase*.
<https://www.rivm.nl/publicaties/landelijk-meetnet-grondwaterkwaliteit-1-eindrapport-van-inrichtingsfase>

- Van Loon, A., Pronk, T., Raterman, B., Ros, S. (2020). *Grondwaterkwaliteit Nederland 2020. Anorganische parameters, bestrijdingsmiddelen, farmaceutica en overige verontreinigende stoffen in de grondwatermeetnetten van de provincies.*
https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/WKP.WebApplication/General/DownloadFile?path=CustomReports/GrondwaterkwaliteitRapportage/Documentatie/KWR%20.2020.067%20Grondwaterkwaliteit%20Nederland%202020_VanLoonEA.pdf
- WFD CIS. (2020). *Voluntary Groundwater Watch List Group. Study on Per- and Perfluoroalkyl substances (PFAS) - Monitoring Data Collection and Initial Analysis.* p. 25.
- Wintersen, A., Osté, L., Meiracker, R. v. d., Breemen, P. v., Roskam, G., & Spijker, J. (2020a). *Verschil in uitloging van PFAS uit grond en bagger (2020-0102).*
- Wintersen, A., Spijker, J., Breemen, P. v., & Wijnen, H. v. (2020b). *Achtergrondwaarden per- en polyfluoralkylstoffen (PFAS) in de Nederlandse landbodem.* (2020-0100).
<https://www.rivm.nl/publicaties/achtergrondwaarden-perfluoralkylstoffen-pfas-in-nederlandse-landbodem>
- Wintersen, A. M., Spijker, J., Breemen, P. v., Wijnen, H. v., & Otte, P. (2019). *Tijdelijke landelijke achtergrondwaarden bodem voor PFOS en PFOA* <https://www.rivm.nl/nieuws/tijdelijke-achtergrondwaarden-voor-pfas-in-nederlandse-bodem>
- Wit, M., Claessens, J., & Wintersen, A. (2020). *Resultaten analyse beschikbare data PFAS in grondwater.*
<https://www.rivm.nl/documenten/notitie-resultaten-analyse-beschikbare-data-pfas-in-grondwater>

Bijlage 1: Totstandkoming protocol PFAS bemonsteringen

1.1 Inleiding

Het doel van deze bijlage is om toe te lichten hoe het gebruikte PFAS bemonsteringsprotocol tot stand is gekomen. Om te komen tot het monsternamenameprotocol is een vooronderzoek uitgevoerd, een laboratoriumonderzoek en veldtestdagen.

Vooronderzoek

In het vooronderzoek is nagegaan in hoeverre de reguliere monsternamename LMG geschikt is voor monsternamename voor PFAS. In deze bijlage wordt eerst een beknopte beschrijving gegeven van de reguliere monsternamename in LMG. Vervolgens wordt de beoordeling van de reguliere bemonsteringsmaterialen (bemonsteringsapparatuur, flessen en andere hulpmiddelen) en het materiaaltype van de peilbuizen op geschiktheid voor PFAS toegelicht en worden er waar mogelijk alternatieven voorgesteld. Hierbij is onder andere gebruik gemaakt van de ervaringen van andere organisaties op het gebied van PFAS bemonstering. Tot slot is uitgezocht of er risico's op PFAS contaminatie bestaan bij het gebruik van bepaalde kleding en persoonlijke beschermingsmiddelen.

Laboratoriumonderzoek

Naar aanleiding van het materialenonderzoek is een laboratoriumonderzoek uitgevoerd om mogelijke absorptie en afgifte van PFAS door de gebruikte bemonsteringsslangen te bepalen. De opzet, uitvoering en resultaten van dit onderzoek worden besproken aan de hand van het door Synlab opgestelde analyserapport.

Veldtestdagen

Vervolgens zijn er drie verschillende PFAS monsternamemethodes samengesteld. Hierbij is gebruik gemaakt van verschillende combinaties van bemonsteringsapparatuur voor het voerpompen en bemonsteren. Bij één LMG meetpunt zijn deze verschillende methodes getest en zijn er grondwatermonsters genomen, welke in het laboratorium zijn geanalyseerd op PFAS. Een kort verslag van deze testdag is opgenomen en de resultaten en conclusies welke hieruit voortkwamen zijn behandeld. Op basis hiervan is een definitieve keuze gemaakt met betrekking tot de monsternamenamestrategie voor de PFAS bemonsteringen.

1.2 Regulier monsternamenameprotocol LMG

Het protocol voor de LMG monsternamename is gebaseerd op NTA 8017:2016, Monsterneming van grondwater ten behoeve van de monitoring van grondwaterkwaliteit (NEN, 2016). Voorafgaand aan de bemonsteringen worden er metingen aan en in de peilbuizen verricht en worden de peilbuizen doorgepompt. Uiteindelijk wordt het opgepompte water gefiltreerd in het veld en opgevangen in een monsterfles (Wolters, 2019).

Voorpompen

In NTA 8017 is beschreven dat de voorkeur uitgaat naar het gebruik van een pomp welke weinig of geen onderdruk veroorzaakt. Binnen het LMG

is daarom voor een onderwaterpomp (Grundfos MP1) gekozen voor het bemonsteren en voerpompen van 2-inch peilbuizen. In enkele gevallen wordt overgegaan op de slangenpomp. Dit is het geval bij te weinig watervoorraad of een zeer slechte toestroming, wanneer de stijgbuis is geknikt, of wanneer de put niet bereikbaar is met de onderwaterpomp. Omdat de onderwaterpomp niet past binnen de 1-inch peilbuizen, wordt dit type peilbuizen bemonsterd met een slangenpomp (Eijkelkamp Slangenpomp Standaard, 12.25) en voorgepompt met een centrifugaalpomp (Honda WX10). Net als NTA 8017 voorschrijft, wordt minimaal 3x de natte peilbuisinhoud voorgepompt. Daarnaast dienen ook de pH en EGV stabiel te zijn. De onderwaterpomp wordt bij het voerpompen van 2-inch peilbuizen tot 1m boven het filter gehangen. Bij het voerpompen van 1-inch peilbuizen wordt de aanzuigslang van de centrifugaalpomp tot op circa 2 m beneden de waterspiegel in de peilbuis geplaatst (Wolters, 2019).

Monstername

Binnen het LMG worden de monsters gefiltreerd met een wegwerffilter van 0,45 µm en worden transparante PE monsterflessen gevuld. De monsters worden gekoeld opgeslagen en binnen vier dagen na monstername afgeleverd bij het laboratorium. De gebruikte bemonsteringsslangen worden na het bemonsteren van 100 peilbuisfilters gereinigd met verdund zuur en nagespoeld met (leiding)water (Wolters, 2019). De slangen worden dus veelvuldig hergebruikt. Omdat er voor grondwatermonitoring in principe nooit vervuild grondwater wordt bemonsterd, is het leeg laten lopen van de slangen en op een nieuwe locatie voerpompen vrijwel altijd voldoende voor de reiniging van de slang (NEN, 2016).

1.3 Vooronderzoek: Materiaalonderzoek LMG meetnet

In dit onderdeel zijn de gebruikte materialen binnen het LMG beoordeeld op geschiktheid voor PFAS bemonstering. Het gaat hierbij zowel om de peilbuizen als de gebruikte materialen tijdens de monstername. Het is belangrijk om te weten of het gebruik van bepaalde materialen mogelijk kan leiden tot beïnvloeding van de gemeten PFAS-waarden in het grondwatermonster. Dit kan zowel door adsorptie als afgifte van PFAS-verbindingen. Indien mogelijk zijn er alternatieve materialen voorgesteld, welke het risico op contaminatie met PFAS verkleinen.

Binnen het Expertisecentrum PFAS is al jaren ervaring opgedaan met het bemonsteren van PFAS. Samen met VVMA en VKB heeft het expertisecentrum PFAS een Handreiking PFAS bemonsteren uitgebracht waarin de nieuwste kennis met betrekking tot het bemonsteren van PFAS-verbindingen is opgenomen (Bentum & Pancras, 2020). Deze handreiking is als basis gebruikt ter beoordeling van de geschiktheid van de gebruikte materialen binnen het LMG. Het is bij de gebruikte materialen vooral belangrijk om te letten op het gebruik van teflon. Teflon bestaat uit fluoropolymeren. Dit zijn lange ketens van aan elkaar gekoppelde, individuele PFAS-moleculen. Deze fluoropolymeren zorgen zelf naar verwachting niet voor contaminatie, maar kunnen door het uitloggen van afzonderlijke PFAS toch mogelijk voor verontreiniging zorgen (Bentum & Pancras, 2020).

Peilbuizen

Het LMG-meetnet is in 1979 opgericht (RIVM). De realisatiedatum van de verschillende bemonsteringsputten varieert echter sterk. Zo dateren de oudste putten van eind jaren zestig en hiervan zijn er nog enkelen in gebruik. In de loop der jaren zijn er gaandeweg putten vervangen of nieuw in gebruik genomen. Hierdoor bevat het meetnet zowel nieuwe- als oude putten. Om erachter te komen van welke materialen deze oude putten zijn vervaardigd, is informatie uit het archief geraadpleegd. Voor meest recent gerealiseerde putten is informatie opgevraagd bij de betreffende aannemer.

Informatie uit archief

Om erachter te komen van welke materialen de stijgbuizen en peilbuisfilters zijn vervaardigd, is ter oriëntatie van enkele oude, nog in gebruik zijnde, LMG bemonsteringsputten informatie opgezocht in het archief. Hierbij was rekening gehouden met variatie in de realisatiedatum en in de aannemer welke de put heeft gerealiseerd. Verder is, voor zover aanwezig in het archief, gelet op overige eigenschappen zoals type stijgbuisverbinding. Uit de selectie bleek dat de meeste stijgbuizen uitsluitend van PVC zijn vervaardigd. Het type stijgbuisverbinding is meestal niet vermeld. Volgens NEN 5766 is het gebruikelijk om bij PVC peilbuizen een strakke lange mof en schroefdraad met O-ring, of teflon tape als lekdichte verbinding te gebruiken (NEN, 2003). Een enkele keer is in het archief vermeld dat er daadwerkelijk gebruik gemaakt is van PTFE (teflon)-tape als lekdichte verbinding bij een peilbuis. Indien dit niet expliciet vermeld is, is er van uit gegaan dat een schroefdraad met O-ring is gebruikt als type stijgbuisverbinding. De peilbuisfilters van de oudere putten zijn hoofdzakelijk vervaardigd van PVC, vaak met een nylonkous. In de meeste gevallen is geen gebruik gemaakt van een zandvang.

Meest recent gerealiseerde bemonsteringsputten

Voor de realisatie van de meest recente nieuwe bemonsteringsputten is aannemer VCMI ingeschakeld. Zij hebben gebruik gemaakt van een HDPE peilbuis, met als verbindingstype een schroefdraadverbinding (Gerritsen, 2020). Verder is het filter omhuld met een filterkous en afgedicht met grind. De onderkant van de peilbuis is afgedicht met een HDPE onderdop (Gerritsen, 2020).

Mogelijke risico's op contaminatie bij PFAS bemonstering

Omdat de meeste peilbuizen van PVC of HDPE zijn vervaardigd, is er over het algemeen geen aannemelijk risico van contaminatie met PFAS verbindingen. Er is echter wel een risico op contaminatie wanneer er gebruik is gemaakt van teflon houdend materiaal, omdat PFAS is gebruikt bij de productie van teflon (Bentum & Pancras, 2020). Deze PFAS kunnen vrijkomen en zo mogelijk het monster contamineren (Bentum & Pancras, 2020). Daarom is gekozen om geen peilbuizen te selecteren welke teflon onderdelen bevatten, zoals teflon tape als lekdichte verbinding. Hierbij is ervan uitgegaan dat het aannemelijk is dat er geen teflon onderdelen gebruikt zijn wanneer dit niet specifiek vermeld is in het archief. Voor de nieuwere peilbuizen gerealiseerd door VCMI, is met zekerheid te stellen dat deze peilbuizen geen teflon houdend materiaal bevatten. Na selectie van de peilbuizen is nogmaals nagegaan of deze peilbuizen teflon bevatten.

1.4 Overzicht gebruikte monsternamematerialen

In tabel 1 is een overzicht weergegeven van de gebruikte materialen voor de monsternamen binnen LMG. Er is beknopt weergegeven waarvan deze materialen zijn vervaardigd en of er mogelijke risico's bestaan met betrekking tot PFAS contaminatie. Deze eventuele contaminatierisico's voor de gebruikte pompen, slangen, monsterflessen en filters worden uitgebreid beschreven in de volgende paragrafen. Ook worden mogelijke alternatieven aangedragen in deze paragrafen.

Tabel 1 Gebruikte materialen binnen het LMG en eventuele contaminatierisico's.

Onderdeel	Materiaal	Contaminatierisico bij bemonsteren op PFAS?
Monsterflessen	PE (transparant)	Ja/nee. Zie paragraaf 3.5
Onderwaterpomp (Grundfos MP1) Product No 1A105003	Behuizing: Roestvrij staal Impeller: Roestvrij staal Pakkingen: Teflon Voedingskabel: Teflon	Ja/nee. Zie paragraaf 3.3.1.
Pompslang (30 of 60m) Eijkelkamp, artikelnummer 1227SM en 1227SL	PTFE (teflon) of LDPE (nieuwe bestelde slang is van LDPE)	Ja bij PTFE Ja/Nee bij LDPE Zie paragraaf 3.3.2
Verlengslang 18 x 13 mm	PTFE (teflon) of LDPE	Ja bij PTFE Ja/Nee bij LDPE
Elektrisch peillicht	Roestvrij staal	Niet bekend
Peillood/meetlint	Onbekend	Niet bekend
Wegwerffilter van 0,45 µm, oppervlakte 300 cm ² Eijkelkamp type 12.30.10 of wegwerffilter van 0,45 µm, oppervlakte 20 cm ² Eijkelkamp type 12.30.02	Kunststof, (mogelijk) glasvezel	Ja, zie paragraaf 3.4
PE-bemonsteringsslang (4 x 6 mm), bij gebruik slangenpomp. Eijkelkamp, artikelnummer 12.20.03	PE	Ja/nee, zie paragraaf 3.3.2
Siliconen slang bij gebruik slangenpomp: Øin 6 mm, Øuit 10 mm: Eijkelkamp, artikelnummer 12.20.48.	Siliconenrubber	Ja/nee, zie paragraaf 3.3.2

Pompen en slangen

Voor de gebruikte pompen en slangen bij monsternamen geldt dat er gelet moet worden op de aanwezigheid van teflon onderdelen. Het risico op contaminatie is hierbij vooral afhankelijk van de contactduur en het contactoppervlak tussen het monster en de teflon onderdelen (Bentum & Pancras, 2020).

Onderwaterpomp Grundfos MP1

De onderwaterpomp, type Grundfos MP1, wordt standaard gebruikt bij het voerpompen en bemonsteren van de 2 inch peilbuizen en is hoofdzakelijk vervaardigd van roestvrijstaal (A/S). De voedingskabel is echter standaard gemaakt van teflon (Camfferman, 2020). Verder bevat deze pomp ook teflon pakkingen. Het is volgens Camfferman (2020) technisch mogelijk om eventueel een nieuwe voedingskabel te ontwikkelen welke voorzien is van een HDPE krimpous. Verder kunnen

de pakkingen in de pomp eventueel vervangen worden door ander materiaal. Deze genoemde opties zijn echter duur en mogelijk leidt dit tot een kortere levensduur omdat deze materialen poreuzer zijn dan teflon (Camfferman, 2020).

Slangenpomp

Als alternatief van de onderwaterpomp zou de slangenpomp gebruikt kunnen worden. Deze wordt binnen het LMG ook gebruikt bij het bemonsteren van 1 inch peilbuizen. In de praktijk zijn er door andere organisaties al met succes PFAS monsters van het grondwater genomen met behulp van de slangenpomp. Zo heeft Arcadis volgens Bentum (2020) enkele jaren geleden, in opdracht van Witteveen+Bos, grondwater uit peilbuizen bemonsterd op PFAS waarbij voornamelijk de slangenpomp werd gebruikt, eventueel in combinatie met een knikkerpuls. Het gebruik van de slangenpomp kent in de praktijk echter zijn beperkingen omdat het opvoerend vermogen van zuigpompen niet meer dan 6 à 9,5m is (NEN, 2011). Dit dient dus in acht te worden genomen, indien er putten worden geselecteerd met diepere grondwaterstanden.

Eerder is genoemd dat er bij de gebruikte materialen gelet moet worden op het gebruik van teflon. Het risico op contaminatie van het monster met PFAS door fluorpolymeren hangt vooral af van de contactduur en het contactoppervlak (Bentum & Pancras, 2020). Zo is het mogelijk dat de teflon onderdelen in de onderwaterpomp toch niet leiden tot contaminatie. Dit kan worden getest door een blanco monster te nemen. Indien er in (een deel van) de monsters geen aantoonbare PFAS-concentraties zijn gemeten, dan kan volgens Bentum and Pancras (2020) worden aangenomen dat er geen sprake is geweest van contaminatie. Het is ook van belang om het gebruikte (kraan)water te analyseren op PFAS indien er wel PFAS gedetecteerd is in het monster. Zo kan worden uitgesloten dat er al PFAS in het gebruikte (kraan)water aanwezig was (Bentum & Pancras, 2020).

Binnen de provincie Noord-Brabant zijn in het verleden al PFAS bemonsteringen in het grondwater uitgevoerd. Hierbij werd gebruik gemaakt van de Grundfos MP1 onderwaterpomp. Hoewel bekend was dat dit type pomp teflon onderdelen bevatte, bleek er in de praktijk geen PFAS contaminatie te zijn opgetreden omdat er bij een aantal bemonsterde peilbuizen geen detecteerbare PFAS concentraties in de grondwatermonsters werden aangetoond (Velthuisen, 2020). In tegenstelling tot de provincie Noord-Brabant, vermijdt KWR het gebruik van apparatuur die teflon of fluorhoudende polymeren bevat bij het bemonsteren van drinkwater op PFAS (Kools, 2020). In plaats hiervan wordt dan een dompelpomp of slangenpomp gebruikt (Kools, 2020).

Pomp- en bemonsteringsslangen

Binnen het LMG wordt bij het gebruik van de onderwaterpomp, zowel bij voorpompen als bij het bemonsteren, een LDPE slang gebruikt. LDPE bevat van nature geen PFAS (McCabe, 2018), maar LDPE is wel een open materiaaltipe (Camfferman, 2020). Hierdoor kan PFAS opgenomen worden door, of blijven plakken aan de bemonsteringsslangen. Met als gevolg een mogelijke onderschatting van de PFAS hoeveelheid in het monster (Bentum & Pancras, 2020). Een LDPE slang kan wel gebruikt

worden bij kortstondige bemonsteringen, maar dient dan wel telkens vervangen te worden bij elke nieuwe te bemonsteren peilbuis. Hiermee wordt voorkomen dat er verontreiniging van de volgende te bemonsteren peilbuis plaatsvindt (Bentum & Pancras, 2020; Camfferman, 2020).

De bemonsteringsslangen van de onderwaterpomp worden bij het LMG niet vervangen bij elke nieuwe te bemonsteren peilbuis. Dit is dus wel aan te raden wanneer er PFAS monsters worden genomen met deze pomp. Een nadeel is dat het vervangen van de slangen van de onderwaterpomp veel tijd kost en veel afval oplevert (Camfferman, 2020). Bij de slangenpomp gaat dit gemakkelijker omdat hierbij de PE slangen minder dik en beter hanteerbaar zijn. Omdat PFAS ook kan blijven plakken aan siliconenslangen, dient het stuk siliconenslang in het pomphuis van de slangenpomp ook bij elke nieuwe te bemonsteren peilbuis vervangen te worden (Bentum & Pancras, 2020). Verder dient dit stuk slang zo kort mogelijk te worden gehouden, conform BRL Protocol 2002 (Bentum & Pancras, 2020; SIKB, 2018).

Filtratie van de grondwatermonsters

Normaal gesproken worden de grondwatermonsters bij de LMG monsternamen direct in het veld gefiltreerd met een 0.45 µm wegwerpfiler. Wanneer het grondwater ook op PFAS-verbindingen geanalyseerd gaat worden, is het advies om niet te filteren in het veld vanwege mogelijke aanwezigheid van glasvezel in het filter (Houten, 2020). PFAS kunnen mogelijk geabsorbeerd worden door glasvezel (Bentum & Pancras, 2020; McCabe, 2018). Als alternatief kunnen de monsters worden gefiltreerd in het lab (Houten, 2020; McCabe, 2018). Indien het toch noodzakelijk is om in het veld te filteren, dan adviseert McCabe (2018) om glazen filters te gebruiken omdat is gebleken dat dit type filter de minste hoeveelheid PFAS absorbeert.

Monsternamenflessen en opslag

Omdat PFAS mogelijk kan hechten aan glas, is het voor watermonsters beter om geen glazen flessen te gebruiken (Bentum & Pancras, 2020). Bovendien is het niet goed mogelijk om glazen flessen in te vriezen. Invriezen van de monsters is mogelijk nodig wanneer ook bepaalde PFAS precursors geanalyseerd gaan worden (Kools, 2020). Volgens Kools (2020) is het vooral belangrijk om het gebruik van monsterflessen waarin teflon of andere stoffen met fluorhoudende polymeren zijn verwerkt te vermijden. Monsterflessen van PE, PP, of PEEK zijn geschikt voor PFAS monsternamen bij (drink)water (Kools, 2020). Het is ook belangrijk om geen bemonsteringsflessen met teflon inlage in de dop te gebruiken (Bentum & Pancras, 2020).

Het is aanbevolen om de gevulde monsterflessen donker te bewaren omdat enkele PFAS omgezet kunnen worden onder invloed van licht (Bentum & Pancras, 2020). Verder beschikt het lab waarschijnlijk over speciale donkere flessen, welke goed geschikt zijn voor PFAS bemonstering. Kools (2020) adviseert om de monsters gekoeld op te slaan bij een temperatuur van 5°C en deze binnen 4 weken te analyseren.

Kleding, persoonlijke beschermingsmiddelen

In de handleiding PFAS bemonsteren is een overzicht weergegeven bij welk type kleding en persoonlijke beschermingsmiddelen er mogelijk contaminatie met PFAS op kan treden tijdens de monsternamen (Bentum & Pancras, 2020). Het is raadzaam om bepaalde kleding en persoonlijke beschermingsmiddelen daarom niet te gebruiken, maar de veiligheid van de medewerker blijft wel altijd belangrijker dan het tegengaan van mogelijke contaminatie (Bentum & Pancras, 2020). Indien er hierdoor toch materialen worden gebruikt met een risico op PFAS contaminatie, dan moet dit vermeld worden op het kwaliteitsborgingsformulier (Bentum & Pancras, 2020).

1.5 Laboratoriumonderzoek: Adsorptie en afgifte onderzoek bemonsteringsslangen

Uit het materialenonderzoek was naar voren gekomen dat de LDPE bemonsteringsslangen en het siliconendeel bij de slangenpomp in principe geschikt zijn voor monsternamen van PFAS. Hiervoor is het wel van belang om deze slangen te vervangen bij elke nieuwe te bemonsteren peilbuis omdat PFAS mogelijk geadsorbeerd kan worden door deze bemonsteringsslangen. Om inzicht te krijgen in welke mate verschillende typen PFAS-verbindingen mogelijk geadsorbeerd of afgegeven worden door deze twee verschillende typen bemonsteringsslangen, is er door Synlab (SYNLAB Analatics en Services B.V., Rotterdam) een labonderzoek uitgevoerd. De opzet, uitvoering en resultaten van dit onderzoek worden in dit hoofdstuk besproken, aan de hand van het opgestelde rapport door Sage and Ouden (2020).

De resultaten van de blanco bepaling van het labonderzoek bevestigen dat nieuwe ongebruikte siliconen- en PE-slangen onder normale omstandigheden geen PFAS uitlogen. Het is echter wel mogelijk dat er bij beide typen slangen sprake kan zijn van enige adsorptie van bepaalde PFAS verbindingen. Bij de meerderheid van de verschillende typen PFAS verbindingen was echter aangetoond dat er geen aantoonbare adsorptie heeft plaatsgevonden. Bij het hergebruiken van de siliconenslang was geen sprake van aantoonbare afgifte van PFAS. Voor de PE-slang was er mogelijk sprake van afgifte voor een aantal PFAS verbindingen. De gemeten concentraties waren echter wel laag. De bepaling van maximale afgifte resulteerde wel in de afgifte van verschillende typen PFAS verbindingen voor zowel de siliconen- als PE-slang. De extreme omstandigheden van de proefopstelling bij deze bepaling zullen in de praktijk echter niet voorkomen.

Hoewel is gebleken dat het om kleine hoeveelheden gaat, blijft het noodzakelijk om de bemonsteringsslangen te vervangen bij elke nieuwe te bemonsteren peilbuis om eventuele contaminatie vanwege adsorptie of afgifte van PFAS tijdens de monsternamen uit te sluiten.

1.6 Veldtestdagen: Veldonderzoek PFAS monsternamemethodes

Zoals eerder besproken wordt er binnen het LMG bij de 2 inch peilbuizen meestal gebruik gemaakt van een onderwaterpomp. Het gebruik hiervan voor PFAS monsternamen had echter een aantal mogelijke nadelen. Zo bevat deze pomp teflon onderdelen en het is veel werk om de slangen te vervangen bij elke nieuwe te bemonsteren peilbuis. De slangenpomp

zou een goed alternatief kunnen zijn en is door andere organisaties al succesvol gebruikt voor PFAS bemonsteringen. Deze projecten waren echter vaak gericht op bodemonderzoek met PFAS als te onderzoeken chemische parameter. In dergelijke onderzoeken worden de monsternames uitgevoerd conform NEN 5744.

Het LMG is daarentegen opgezet met als doel de monitoring van de grondwaterkwaliteit in vaste bemonsteringsputten, met NTA 8017 als richtlijn. Om PFAS contaminatie tijdens de monstername te voorkomen zal het nodig zijn om delen van NEN 5744 toe te passen in het bemonsteringsprotocol. Er zijn daarom verschillende mogelijke monsternamestrategieën samengesteld, waarbij in het veld is getest of deze praktisch binnen het LMG uitvoerbaar zijn. Bovendien zijn tijdens deze tests PFAS monsters genomen in het grondwater en op basis van de uitkomsten hiervan zijn conclusies getrokken met betrekking tot de toe te passen monsternamestrategie.

De mogelijke monstername strategieën zijn als volgt:

- 1- Voorpompen en bemonsteren met de slangenpomp
- 2- Voorpompen en bemonsteren met de onderwaterpomp
- 3- Voorpompen met de onderwaterpomp en bemonsteren met de slangenpomp

Hieronder wordt eerst een toelichting gegeven op het voorpompen met de slangenpomp en de onderwaterpomp. Vervolgens worden de drie strategieën verder toegelicht.

Voorpompen

Voorpompen met slangenpomp conform NEN 5744 (NEN, 2011) NEN 5744 schrijft voor om minimaal 5x de inhoud van het peilbuisfilterdeel voor te pompen, met een maximaal debiet van 500 ml/min waarbij de verlaging van het waterniveau in de peilbuis wordt beperkt tot maximaal 50 cm. Hierbij dient de slang halverwege het filtertraject te worden hangen. Bij een peilbuis met een filterstelling dieper dan 15 m is een hoger debiet toegestaan, mits de verlaging van het waterniveau in de peilbuis beperkt blijft tot maximaal 10 cm. Verder dient ook de waarde van het elektrisch geleidingsvermogen (EGV) stabiel te zijn geworden. Indien de EGV en O₂ eerder stabiel zijn geworden (*volgens NEN 5744, wij hebben enkel EGV en pH gemeten tijdens de veldtestdag*), zou het voorpompen eerder kunnen worden beëindigd dan 5x de inhoud van het filterdeel afpompen. In bijlage C.1 van NEN 5744 is beschreven dat een voor te pompen volume van 1 tot 2x de filterinhoud vaak voldoende is.

Als alternatief kan er worden gekozen om 3x de natte peilbuisinhoud af te pompen, dit is ook het geval binnen het LMG. Dit betekent in de praktijk wel dat er een groter volume voorgepompt dient te worden in vergelijking met 5x de filterinhoud voorpompen. Voor bijvoorbeeld een natte peilbuislengte van 10 m bij een 2 inch peilbuis dient al minimaal 76 L te worden voorgepompt. Dit is qua tijdsduur niet praktisch met de slangenpomp.

Voor te pompen volumes en tijdsduur

Binnen het LMG heeft elke peilbuis een filtergedeelte van 2 m lengte. Dit betekent dus dat het voorpompen 2x zoveel tijd kost t.o.v. van

peilbuizen met maar 1 m filterlengte. De 2 inch peilbuizen binnen het LMG hebben een binnendiameter van 57 mm, voor de 1 inch peilbuizen is dit 25 mm. De benodigde tijdsduur en volumes om met een slangenpomp zowel 5x als 2x de filterinhoud voor te pompen voor beide typen peilbuizen is weergegeven in tabel 2. Hierbij is uitgegaan van een debiet van 500 ml/min en gebruik gemaakt van het overzicht van peilbuisvolumes per 100 cm strekkende lengte voor verschillende peilbuisdiameters uit BRL Protocol 2002 (SIKB, 2018).

Tabel 2 De benodigde tijdsduur en volumes om met een slangenpomp met een debiet van 500 ml/min zowel 5x als 2x de filterinhoud voor te pompen voor 1 en 2 inch peilbuizen.

Type peilbuis	2 inch peilbuis	1 inch peilbuis
Binnendiameter	57 mm	25 mm
Volume van 100 cm strekkende lengte (SIKB, 2018)	2552 ml	490 ml
Volume bij 200 cm filter	5104 ml	980 ml
Voor te pompen volume bij 5x filterinhoud	25 L	5 L
Tijdsduur voorpompen bij 5x filterinhoud (min)	50 min	10 min
Voor te pompen volume bij 2x filterinhoud in L	10 L	2 L
Tijdsduur voorpompen bij 2x filterinhoud (min)	20 min	4 min

Indien 5x de filterinhoud wordt voorgepompt met de slangenpomp, is de tijdsduur bij een 2 inch peilbuis dus 50 minuten. Deze tijdsduur wordt flink ingekort tot 20 min wanneer 2 x de inhoud van het filter voorpompen voldoende is.

Capaciteit slangenpomp

Het debiet van 500 ml/min, dat is voorgeschreven in de NEN5744, is mogelijk niet in alle gevallen haalbaar, omdat het opvoerend vermogen van zuigpompen niet meer dan 6 à 9,5 m is (NEN, 2011). Daarom is in het veld bij monsterputten met verschillende grondwaterstanden getest in hoeverre het debiet van 500 ml/min kon worden behaald. Op twee locaties met een grondwaterstand van niet dieper dan 5 m werd dit debiet zonder moeite behaald. Bij een andere locatie met een grondwaterstand van 8,40 m bleek een debiet van maximaal 260 ml/min haalbaar. In dit geval is het dus qua tijdsduur niet praktisch om met de slangenpomp 5x de filterinhoud voor te pompen.

Voorpompen met onderwaterpomp conform NTA 8017

Een alternatief voor de slangenpomp bij het voerpompen is het gebruik van de Grundfos MP1 onderwaterpomp. Hiermee kan met een grotere snelheid worden voorgepompt en wordt de tijdsduur t.o.v. het gebruik van de slangenpomp aanzienlijk beperkt. De onderwaterpomp wordt, in tegenstelling tot de slangenpomp, op 1 m boven het filter gehangen bij het voerpompen.

NTA 8017 schrijft voor om minimaal 3x de natte peilbuisinhoud voor te pompen (NEN, 2016). Indien dit niet leidt tot een stabiele EGV en pH waarde, wordt 3 minuten langer voorgepompt en dit wordt maximaal 3 keer herhaald (NEN, 2016). De pompsnelheid bij het voerpompen bedraagt meestal rond 5 tot 8 l/min (RIVM). De bijbehorende voerpomptijden en het minimaal voor te pompen volume voor verschillende hoogtes van de natte peilbuisinhoud zijn weergegeven in tabel 7 (RIVM). Hierbij is uitgegaan van het voorspoelen van 3x de natte peilbuisinhoud en van peilbuizen met een binnendiameter van 57 mm.

Tabel 3 Minimaal voor te pompen volume en pomptijden voor 2 inch (binnendiameter 57 mm) peilbuizen bij verschillende pompsnelheden met verschillende hoogtes van de natte peilbuisinhoud.

Hoogte natte peilbuisinhoud (m)	Minimaal Volume (l)	Aantal minuten bij 5 L/min	Aantal minuten bij 6 L/min	Aantal minuten bij 7 L/min	Aantal minuten bij 8 L/min
5	38	8	7	6	5
10	76	16	14	11	10
15	114	23	19	17	15
20	152	32	26	22	19
25	190	38	32	28	24
30	228	46	38	33	29
35	266	54	45	38	34
40	304	61	51	44	38
45	342	69	57	49	43
50	380	77	64	55	48

Uit tabel 3 blijkt dat het toepassen van NTA 8017 in de praktijk leidt tot grote volumes die voorgepompt dienen te worden. De pompsnelheid met de onderwaterpomp is echter hoger dan bij de slangenpomp. Vooral bij diepere grondwaterstanden kost het voerpompen met de onderwaterpomp in vergelijking met de slangenpomp aanzienlijk minder tijd.

1.7 Uitvoering testbemonsteringen

De drie verschillende monsternamemethodes zijn:

- 1- Voerpompen en bemonsteren met de slangenpomp
- 2- Voerpompen en bemonsteren met de onderwaterpomp
- 3- Voerpompen met de onderwaterpomp en bemonsteren met de slangenpomp

Ad 1. Nadat is voorgepompt met de slangenpomp kan de monstername ook worden uitgevoerd met de slangenpomp.

Indien er ook in de diepere peilbuizen bemonsterd gaat worden, wordt het bij gebruik van de slangenpomp lastig om de grote lengte slang helemaal tot in het peilbuisfilter te laten zakken. Peilbuisfilter 3 in de monsterputten van het LMG bevindt zich meestal op ongeveer 25 m onder het maaiveld. In dit geval kan het omlaag brengen van de slang, volgens bijlage C.5 van NEN 5744, versneld en vereenvoudigd worden door de onderzijde van de slang te verzwaren met enkele 50 cm lange stukken roestvast stalen dikwandige buis (NEN, 2011).

Ad 2. Nadat is voorgepompt met de onderwaterpomp kan de monstername worden uitgevoerd met de onderwaterpomp. Om te testen of de teflon onderdelen van de Grundfos MP1 onderwaterpomp PFAS contaminatie met het monster veroorzaakt, kan er als test een grondwatermonster met deze onderwaterpomp worden genomen. Hierbij wordt dus voorgepompt én bemonsterd met deze onderwaterpomp. Het voorpompen wordt dan uitgevoerd op 1 m boven het filterdeel conform NTA 8017, zoals beschreven in paragraaf 4.2.1. De monstername vindt dan, in tegenstelling tot NTA 8017, plaats halverwege het peilbuisfilter. Mocht een pompsnelheid van 3 à 4 l/min teveel druk op het filter opleveren, dan kan er een lagere pompsnelheid gekozen worden. De monsters kunnen worden genomen indien minimaal 2 liter is voorgespoeld en het water helder is. Indien uiteindelijk blijkt dat de genomen monsters met de onderwaterpomp geen PFAS concentraties boven de detectiegrens bevatten, dan kan worden aangenomen dat er geen sprake is geweest van aantoonbare contaminatie.

Ad 3. Nadat is voorgepompt met de onderwaterpomp kan de monstername worden uitgevoerd met de slangenpomp. Hiervoor wordt het uiteinde van de slang halverwege het peilbuisfilter te geplaatst. Omdat op grotere diepte wordt bemonsterd dan voorgepompt, is te verwachten dat eventuele PFAS contaminatie van het te bemonsteren grondwater voorkomen kan worden. De slangen kunnen bij de slangenpomp namelijk makkelijk vervangen worden en het bemonsterde water is niet in contact geweest met de onderwaterpomp.

Met deze verschillende combinaties van voorpompen en bemonsteren zijn grondwatermonsters genomen uit het peilbuisfilter en deze zijn in het lab geanalyseerd op PFAS.

Eigenschappen en omstandigheden testbemonsteringslocatie

De testbemonsteringen waren uitgevoerd bij LMG monsterputnummer 116, te Gemert (Noord-Brabant, zandgrond). Deze monsterput bevat 3 peilbuizen. Peilbuisfilter 1 en 3, beiden met een binnendiameter van 57 mm (2 inch), zijn bemonsterd. Filter 1, met een filterlengte van 2 m, bevindt zich op een diepte van 10.5 m t.o.v. de bovenkant van de peilbuis. Filter 3, ook met een filterlengte van 2 m, bevindt zich op een diepte van 24.45 m t.o.v. de bovenkant van de peilbuis. De gemeten grondwaterstand tijdens de monstername bedroeg 1.90 m beneden maaiveld. Tijdens de testbemonsteringen was het bewolkt met af en toe lichte regen, bij een luchttemperatuur van ongeveer 13 graden Celsius. Er is geen regenkleding gedragen. Er was gebruik gemaakt van nitril

handschoenen. Verder is het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen met een risico op PFAS contaminatie vermeden.

Methode 1: Voorpompen en bemonsteren met slangenpomp

Bij de eerste testmonsternamen is de slangenpomp gebruikt voor zowel het voorpompen als de monsternamen. Bij elke te bemonsteren peilbuis zijn de bemonsteringsslang en het siliconengedeelte van de slangenpomp vervangen. Om een volume van 25 L (5 x natte peilbuisinhoud) voor te pompen is 50 minuten voorgepompt met een debiet van 500 ml/min. De doorstroomcel is vervolgens twee maal gevuld om de EGV en pH te meten. Tabel 4 toont de gemeten waarden van deze 1^e en 2^e meting voor zowel filter 1 als filter 3.

Tabel 4 De 1^e en 2^e meting van pH en EGV voor filter 1 en 3 bij voorpompen met de slangenpomp.

Parameter	Filter 1, 1^e meting	Filter 1, 2^e meting	Filter 3, 1^e meting	Filter 3, 2^e meting
pH	5,28	5,17	5,44	5,50
EGV	556	544	558	558

Vervolgens zijn de ongefiltreerde PFAS monsters genomen met hetzelfde debiet als tijdens het voorpompen.

Methode 2: Voorpompen en bemonsteren met de onderwaterpomp

Voor de tweede testmonsternamen is voorgepompt met de onderwaterpomp conform NTA 8017. Hiervoor is de onderwaterpomp op 1 m boven het filter gehangen, op 9.5 m en 23.45 m t.o.v. de bovenkant van de peilbuis, voor respectievelijk filter 1 en 2. Voor zowel filter 1 als filter 3 was het voerpompdebiet 6 l/min. Er is minimaal 3x de natte peilbuisinhoud voorgepompt, ongeveer 78 L bij filter 1 en ongeveer 198 L bij filter 3. De EGV en pH zijn tijdens het voorpompen gemeten in een gesloten doorstroomcel. Deze metingen zijn minimaal drie maal uitgevoerd, de laatste stabiele meting voor zowel filter 1 als filter 3 is weergegeven in tabel 5.

Tabel 5 Laatste stabiele EGV en pH meting voor filter 1 en 3 bij voorpompen met de onderwaterpomp.

Parameter	Filter 1	Filter 3
pH	4.78	5.36
EGV	563	565

Vervolgens zijn eerst de reguliere monsters voor het LMG project genomen, met een debiet van 1 l/min. Daarna is de onderwaterpomp voorzichtig tot halverwege het peilbuisfilter gebracht en zijn na 2 L voorpompen de ongefiltreerde PFAS monsters genomen met een zo laag mogelijk debiet. Het water was hierbij voldoende helder.

Methode 3: Monsternamen met slangenpomp na voorpompen met onderwaterpomp

Als laatste is, na het gebruik van de onderwaterpomp, een ongefiltreerd PFAS monster genomen met de slangenpomp. Hiervoor zijn de bemonsteringsslangen en het siliconengedeelte van de slangenpomp vervangen en is het uiteinde van de bemonsteringsslang halverwege het peilbuisfilter gehangen. Er was 20 minuten voorgepompt met een debiet

van 500 ml/min. Hierdoor was 10 L voorgepompt, overeenkomend met 2 maal de filterinhoud. De doorstroomcel is vervolgens twee maal gevuld om de EGV en pH te meten. Tabel 6 toont de gemeten waarden van deze 1^e en 2^e meting voor zowel filter 1 als filter 3.

Tabel 6 De 1^e en 2^e meting van pH en EGV voor filter 1 en 3 bij voorpompen met de slangenpomp, nadat al was voorgepompt met de onderwaterpomp.

Parameter	Filter 1, 1^e meting	Filter 1, 2^e meting	Filter 3, 1^e meting	Filter 3, 2^e meting
pH	4,92	4,87	5,35	5,39
EGV	576	570	562	563

Flessen, opslag en koeling monsters

Het nemen van de grondwatermonsters is per type filter in duplo uitgevoerd. Voor elke bemonsteringseenheid werden twee transparante flesjes van 25 ml gevuld. Deze werden na het vullen direct koel opgeslagen in de koelkast. De PFAS-analyses zijn uitgevoerd door Synlab A&S Sweden (Linköping).

Bijzonderheden

Bij het gebruik van de slangenpomp was het lastig om de bemonsteringsslang te laten zakken tot in het filter omdat deze bij grote lengtes ging opkrullen. Helaas was er op dat moment nog geen beschikking over een rvs dikwandige buis welke aan de onderzijde van de slang bevestigd kan worden om deze te verzwaren, zoals ook beschreven in bijlage C.5 van NEN 5744 NEN (2011). Als alternatief zijn twee rvs steunpoten van een doorstroomcel aan het uiteinde van de slang bevestigd (afbeelding 1). Hierdoor kon toch op grote diepten bemonsterd worden met de slangenpomp.

De monsternamflesjes waren transparant. Om te voorkomen dat eventuele omzetting van PFAS onder invloed van licht kon plaatsvinden zijn de monsters daarom direct opgeslagen in een donkere ruimte (koelkast),



Afbeelding 1. Constructie van twee rvs steunpoten van een doorstroomcel, bevestigd aan het uiteinde van de bemonsteringsslang, om deze tot in het peilbuisfilter te laten zakken bij bemonstering met de slangenpomp.

1.8 Resultaten lab-analyse

De grondwatermonsters zijn in het lab op in totaal 33 verschillende PFAS verbindingen geanalyseerd. Bij 21 typen PFAS verbindingen werden voor elk van de drie testbemonsteringen geen concentraties boven de rapportagegrens gemeten. Aangenomen wordt dat er geen sprake is geweest van aantoonbare contaminatie door de gebruikte materialen bij de testbemonsteringen.

Tabel 11 toont de overige 12 typen geanalyseerde PFAS verbindingen waarvan wel waarden boven de rapportagegrens zijn gemeten. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de drie verschillende monsternamemethoden (test 1 = enkel gebruik slangenpomp, test 2 = gebruik onderwaterpomp voor voorpompen én bemonsteren, test 3 = gebruik onderwaterpomp voor voorpompen en slangenpomp voor bemonsteren) en de twee typen bemonsterde peilbuisfilters, met filterdieptes voor filter 1 en 3 van respectievelijk 9.5 m en 23.45 m t.o.v. de bovenkant van de peilbuis. Elke test voor elk peilbuistype was in duplo uitgevoerd (D1 en D2).

Tabel 7. Resultaten PFAS analyse in grondwater voor drie verschillende monsternamemethoden (test 1 = enkel gebruik slangenpomp, test 2 = gebruik onderwaterpomp voor voorpompen én bemonsteren, test 3 = gebruik onderwaterpomp voor voorpompen en slangenpomp voor bemonsteren) en voor twee verschillende typen peilbuisfilters (met filterdieptes voor filter 1 en 3 van respectievelijk 9.5 m en 23.45 m t.o.v. de bovenkant van de peilbuis). Elke bemonsteringseenheid is in duplo uitgevoerd (D1 en D2). Enkel PFAS verbindingen aangetoond boven de detectiegrens zijn weergegeven.

Type PFAS verbinding	Resultaten (Ondiep) Filter 1 (ng/l)						Resultaten (Diep) Filter 3 (ng/l)					
	Test 1 D1	Test 1 D2	Test 2 D1	Test 2 D2	Test 3 D1	Test 3 D2	Test 1 D1	Test 1 D2	Test 2 D1	Test 2 D2	Test 3 D1	Test 3 D2
PFBA	5,5	5,6	5,8	5,9	6	6	6	6	6,2	6	5,9	6
PFPeA	0,9	0,72	0,96	0,99	0,96	1,2	0,66	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6
PFHxA	1,9	1,9	1,9	2	1,8	2,1	0,99	0,97	1,1	0,97	1,1	1,1
PFHpA	2,3	2,2	2,4	2,4	2,4	2,3	1,3	1,3	1,2	1,1	1,3	1,3
PFOA lineair	8,3	8,2	8	8,7	8,6	9,3	3,9	4	3,8	3,7	4,1	3,7
PFOA vertakt	4,2	4	4,2	4,2	4,1	4,3	2,6	2,7	2,5	2,6	2,6	2,7
som PFOA (0.7 factor)	13	12	12	13	13	14	6,5	6,7	6,3	6,3	6,7	6,4
PFBS	3,3	2,8	2,8	3,7	3,7	3,5	1,3	1,3	1,4	1,4	1,2	1,3
PFPeS	0,72	0,68	0,62	0,63	0,63	0,63	0,31	<0.3	<0.3	<0.3	0,32	0,32
PFHxS	2,4	2,3	2,4	2,1	2,5	2,4	0,55	0,49	0,56	0,55	0,63	0,55
PFOS lineair	0,36	0,24	0,23	<0.2	0,31	<0.2	0,41	0,32	0,47	<0.2	<0.2	<0.2
som PFOS (0.7 factor)	0,36	0,24	0,23	0,2	0,31	0,2	0,41	0,32	0,47	0,2	0,2	0,2

1.9 Algemene duiding resultaten

Over het algemeen kan worden gesteld dat de PFAS concentraties van het bemonsterde grondwater redelijk laag zijn. Van de 12 typen PFAS verbindingen met concentraties boven de rapportagegrens waren er slechts enkelen met een concentratie boven de 5 ng/l. Vooral de monsternamediepte lijkt van invloed op de gemeten PFAS concentraties, met over het algemeen hogere concentraties in het ondiepe filter. Enkel voor PFBA en PFOS zijn geen zichtbare verschillen tussen concentraties in het diepe en ondiepe filter gemeten.

Over het algemeen zijn er weinig verschillen tussen de geanalyseerde PFAS concentraties van de monsters genomen met de verschillende monsternamemethoden tijdens de testbemonsteringen. Wanneer dit wel het geval was, waren er soms ook verschillen tussen de duplo bemonsteringen zelf. In dit geval is het niet mogelijk om eventuele verschillen toe te wijzen aan afgifte of adsorptie van PFAS door het gebruik van een bepaalde monsternamemethode.

Voor PFOS lineair zijn er tussen de 3 verschillende testen bij filter 3 verschillen waar te nemen in gemeten concentratie. Het is echter lastig om te beoordelen of er afgifte of adsorptie van dit type PFAS-verbinding heeft plaatsgevonden omdat de gemeten concentraties niet veel hoger

zijn dan de rapportagegrens. Verder zijn de verschillen tussen de drie monsternamemethodes niet consistent, wanneer de resultaten van filter 1 met filter 3 worden vergeleken. Voor PFBS leek bij filter 1 het voorpompen met de onderwaterpomp voorafgaand aan het bemonsteren met de slangenpomp (test 3) te leiden tot een kleine verhoging in gemeten concentratie. Dit verschil is bij filter 3, bij lagere concentraties, echter niet meer waarneembaar. Voor PFBA resulteerde het gebruik van de onderwaterpomp bij het voorpompen (test 2 en 3), ten opzichte van de slangenpomp (test 1), tot een kleine toename in de gemeten concentraties. Dit verschil was echter enkel waar te nemen bij filter 1 en niet bij filter 3. Bij filter 1 leken de geanalyseerde concentraties van PFPeA iets toe te nemen bij het gebruik van de onderwaterpomp (test 2 en 3). Bij filter 3 was dit echter andersom. Hierbij lagen alle PFPeA concentraties beneden de detectiegrens, behalve voor duplo 1 bij het gebruik van enkel de slangenpomp (test 1).

1.10 Conclusie

De resultaten van de testbemonsteringen geven geen duidelijke aanwijzingen voor eventuele afgifte of adsorptie van PFAS door de verschillende gebruikte monsternamemethoden. Hiervoor zijn de gemeten concentraties te laag, met als gevolg dat eventuele verschillen tussen de verschillende monsternamemethoden ook klein zijn. Bovendien was er in sommige gevallen ook sprake van een verschil tussen de duplo's en zijn er voor een groot deel van de geanalyseerde PFAS verbindingen geen concentraties boven de detectielimieten vastgesteld.

Meer zekerheid met betrekking tot mogelijke afgifte of adsorptie door de verschillende monsternamemethoden kan eventueel worden verkregen door te kiezen voor meerdere locaties waarvan bekend is dat de PFAS concentraties in het grondwater verhoogd zijn. Hierdoor worden mogelijke onderlinge verschillen in adsorptie en afgifte tussen monsternamemethoden beter zichtbaar.

Op basis van de resultaten is besloten dat het voorpompen zowel met de slangenpomp als met de onderwaterpomp uitgevoerd kan worden, mits de onderwaterpomp hierbij op 1 m boven het filter wordt gehangen. De monsternamename zelf kan het best met de slangenpomp worden uitgevoerd omdat hierbij de slangen gemakkelijk bij elke nieuwe te bemonsteren peilbuis vervangen kunnen worden.

1.11 Geraadpleegde bronnen

- A/S, G. H. MP 1. Retrieved from <https://product-selection.grundfos.com/products/mp-1/mp-1-1A105003?custid=GMA&productnumber=1A105003&qcid=753988008&tab=variant-curves&pumpssystemid=1193230542>
- Bentum, E. v. (2020). [Telefoongesprek ervaringen PFAS bemonstering grondwater].
- Bentum, E. v., & Pancras, T. (2020). *Handreiking PFAS bemonsteren*. Retrieved from
- Camfferman, N. (2020). [Telefoongesprek eigenschappen Grundfos MP1 onderwaterpomp en mogelijke alternatieven].
- Gerritsen, M. (2020). [Aanvraag gebruikte materialen peilbuizen via e-mail].
- Hage, K., Pancras, T., & Vis, R. (2018). *Aanwezigheid van PFAS in Nederland*. Retrieved from
- Horst, F. v. d. (2020). [Emailcontact over ervaring monsternamen PFAS].
- Houten, M. v. (2020). [Telefoongesprek ervaringen monsternamen PFAS grondwater].
- Kools, S. (2020). [Emailcontact informatie bemonsteren drinkwater op PFAS-verbindingen].
- McCabe, J. (2018). *GROUNDWATER PFAS SAMPLING Guidance*. Retrieved from
- NEN. (2003). NEN 5766. In *Bodem - Plaatsing van peilbuizen ten behoeve van milieukundig bodemonderzoek* (pp. 7). Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- NEN. (2011). NEN 5744. In *Bodem - Monsterneming van grondwater*. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- NEN. (2016). NTA 8017 (nl) Monsterneming van grondwater ten behoeve van de monitoring van grondwaterkwaliteit. In. Delft: Koninklijk Nederlands Normalisatie-instituut.
- RIVM. Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit. Retrieved from <https://www.rivm.nl/landelijk-meetnet-grondwaterkwaliteit>
- Sage, V. L., & Ouden, T. d. (2020). *Onderzoek bemonsteringsslangen op PFAS*. Retrieved from Rotterdam:
- SIKB. (2018). Protocol 2002 Het nemen van grondwatermonsters. In.
- Velthuisen, J. v. (2020). [Mailcontact over ervaringen gebruik Grundfos MP1 voor PFAS bemonstering grondwater].
- Wolters, M. (2019). Grondwaterbemonstering in het kader van het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG). In.

Bijlage 2: Monstername protocol LMG

Werkwijze bemonstering PFAS

Voor alle bemonsteringen geldt (in verband met risico op PFAS-contaminatie):

- Geen regenkleding dragen (vermijd bemonsteren tijdens regen)
- Geen nieuwe kleding dragen die nog niet regelmatig gewassen is
- Vermijd gebruik van kleding/schoenen met Gore-Tex, Tyvek
- Vermijd gebruik van schoenen/kleding waarbij impregneermiddelen zijn gebruikt om deze water/vuilafstotend te maken.
- Vermijd gebruik van post-its, waterproof papier en plastic klemborden
- Vermijd gebruik van zonnebrandcrème, muggenspray, handcrème, cosmetica
- Draag bij voorkeur katoenen kleding, gewassen zonder wasverzachter
- Vermijd gebruik van voorverpakt voedsel of verpakkingen van fastfood
- Handschoenen dragen (nitril handschoenen, of pvc werkhandschoenen)



Bemonsteringsstrategie PFAS in combinatie met LMG-bemonstering

- Pomp voor zoals is beschreven in werkinstructie MIL-W-4101.
- Noteer de LMG-veldgegevens in de Veldapp, filter 1, 2, 3.
- Neem de reguliere LMG-monsters.
- Verwijder de Grundfos pomp.
- Hang de bemonsteringsslang van de slangenpomp halverwege het peilbuisfilter.
- Verzwaar eventueel de bemonsteringsslang.

- Pomp voor met een debiet van maximaal 500 ml per minuut met de slangenpomp.
Voor te pompen volume bij **2 inch** peilbuis met **2m** filterlengte: **2 x 5104ml = 10L**
- Stop het voorpompen wanneer de pH en EGV stabiel zijn, indien dit niet het geval is moet **3 min** langer worden voorgepompt. Dit wordt maximaal **3x** herhaald.
- Noteer de gegevens voor het voorpompen met de slangenpomp in de Veldapp, filter 11, 12 en 13.
- Gebruik een nieuw filter voor het verzamelen van de DOC-monsters voor het PFAS-project.
- Vul vervolgens **2 x 100 ml PE flessen, gefiltreerd en aangezuurd met H₂SO₄ (DOC-fles)** en **2 x 250 ml zwarte flessen, ongefiltreerd en onaangezuurd (PFAS-fles)**.



- De flessen niet geheel afvullen omdat de monsters worden ingevroren.
- Scan de barcodes van de DOC-fles in en vermeld op de dop het put- en filternummer, bijvoorbeeld 010-1, 023-3.
- Vul het etiket in op de PFAS-fles
Opdrachtgever: RIVM
Project: PFAS
Monstercode: put- en filternummer, zie DOC-fles
Datum: bemonsteringsdatum
Scan de barcodes in de Veldapp.
- Vervang na elke bemonstering, dus ook als er 2 filters bemonsterd moeten worden in 1 put, de PE-bemonsteringsslang en het siliconengedeelte voor de slangenpomp.
- Sla de monsters op in de koelkast, maximaal 96 uur.

Bemonsteringsstrategie PFAS-bemonstering

- Pomp voor zoals is beschreven in werkinstructie MIL-W-4101.
- Noteer de PFAS-veldgegevens in de Veldapp, filter 21, 22 en 23.
- Verwijder de Grundfos pomp.
- Hang de bemonsteringsslang van de slangenpomp halverwege het peilbuisfilter.
- Verzwaar eventueel de bemonsteringsslang.

- Pomp voor met een debiet van maximaal 500 ml per minuut met de slangenpomp.
Voor te pompen volume bij **2 inch** peilbuis met **2m** filterlengte: **2 x 5104ml = 10L**
- Stop het voorpompen wanneer de pH en EGV stabiel zijn, indien dit niet het geval is moet **3 min** langer worden voorgepompt. Dit wordt maximaal **3x** herhaald.
- Noteer de gegevens voor het voorpompen met de slangenpomp in de Veldapp, filter 31, 32 en 33.
- Vul vervolgens **2 x 100 ml PE flessen, gefiltreerd en aangezuurd met H₂SO₄ (DOC-fles)** en **2 x 250 ml zwarte flessen, ongefiltreerd en onaangezuurd (PFAS-fles).**



- De flessen niet geheel afvullen omdat de monsters worden ingevroren.
- Scan de barcodes van de DOC-fles in.
Vermeld op de dop het put- en filternummer, bijvoorbeeld 10-1, 23-3.
- Vul het etiket in op de PFAS-fles
Opdrachtgever: RIVM
Project: PFAS
Monstercode: put- en filternummer, zie DOC-fles
Datum: bemonsteringsdatum
Scan de barcodes in de Veldapp.
- Vervang na elke bemonstering, dus ook als er 2 filters bemonsterd moeten worden in 1 put, de PE-bemonsteringsslang en het siliconengedeelte voor de slangenpomp.
- Sla de monsters op in de koelkast, maximaal 96 uur.

Voorpompen 1 inch buis

- Pomp voor zoals is beschreven in werkinstructie MIL-W-4101.
- Gebruik hiervoor de slangenpomp en niet de centrifugaalpomp.
- Noteer de LMG-veldgegevens in de Veldapp.
- Neem de reguliere LMG-monsters.
- Hang de bemonsteringsslang van de slangenpomp halverwege het peilbuisfilter.
- Verzwaar eventueel de bemonsteringsslang.

- Pomp voor met een debiet van maximaal 500 ml per minuut met de slangenpomp.
Voor te pompen volume bij **1 inch** peilbuis met **2m** filterlengte: **2 x 980ml = 2L**
- Stop het voorpompen wanneer de pH en EGV stabiel zijn, indien dit niet het geval is moet **3 min** langer worden voorgepompt. Dit wordt maximaal **3x** herhaald.
- Noteer de PFAS-veldgegevens in de Veldapp en neem de PFAS-monsters.
- Hang de bemonsteringsslang direct in het filtergedeelte als er geen LMG monsters genomen worden.

Opslaan monsters

- Een deel van de monsters is maximaal 96 uur bewaard in de koelkast waarna ze zijn ingevroren. Deze monsters zijn tegelijkertijd ontdooid en aangeboden aan het laboratorium. Een ander deel van de monsters is na monsternamen direct aangeboden aan het laboratorium.

Bijlage 3 PFAS doelstoffen en rapportagegrenzen

Substance	Method	Reporting limit
perfluoro-n-butanoic acid (PFBA)	DIN 38407-42 mod.	0,6 ng/l
perfluoro-n-pentanoic acid (PFPeA)	DIN 38407-42 mod.	0,6 ng/l
perfluoro-n-hexanoic acid (PFHxA)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
perfluoro-n-heptanoic acid (PFHpA)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
perfluoro-n-octanoic acid (lineair) (PFOA)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
perfluoro-n-octanoic acid (branched) (PFOA branched)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
perfluoro-n-octanoic acid (total) (PFOA total)	Calculated	0,3 ng/l
perfluoro-n-nonanoic acid (PFNA)	DIN 38407-42 mod.	0,6 ng/l
perfluoro-n-decanoic acid (PFDA)	DIN 38407-42 mod.	0,6 ng/l
perfluoro-n-undecanoic acid (PFUnDA)	DIN 38407-42 mod.	2 ng/l
perfluoro-n-dodecanoic acid (PFDoA)	DIN 38407-42 mod.	2 ng/l
perfluoro-n-tridecanoic acid (PFTrDA)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l
perfluoro-n-tetradecanoic acid (PFTeDA)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l
perfluoro-n-hexadecanoic acid (PFHxDA)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l
perfluoro-n-octadecanoic acid (PFODA)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l
perfluoro-1-butane sulfonic acid (PFBS)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
perfluoro-1-pentane sulfonic acid (PFPeS)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
perfluoro-1-hexane sulfonic acid (PFHxS)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
perfluoro-1-heptane sulfonic acid (PFHpS)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
perfluoro-1-octane sulfonic acid (lineair) (PFOS)	DIN 38407-42 mod.	0,2 ng/l
perfluoro-1-octane sulfonic acid (branched) (PFOS branched)	DIN 38407-42 mod.	0,2 ng/l
perfluoro-1-octane sulfonic acid (total) (PFOS total)	Calculated	0,2 ng/l
perfluoro-1-decane sulfonic acid (PFDS)	DIN 38407-42 mod.	2 ng/l
4:2 fluorotelomer sulfonic acid (4:2 FTS)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
6:2 fluorotelomer sulfonic acid (6:2 FTS)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
8:2 fluorotelomer sulfonic acid (8:2 FTS)	DIN 38407-42 mod.	2 ng/l
10:2 fluorotelomer sulfonic acid (10:2 FTS)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l
N-methylperfluorooctane sulfonamidoacetic acid (N-MeFOSAA)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l
N-ethylperfluorooctane sulfonamidoacetic acid (N-EtFOSAA)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l
perfluoro-1-octanesulfonamide (PFOSA)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
N-methylperfluorooctanesulfonamide (N-MeFOSA)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l
8:2 polyfluoroalkyl phosphate diester (8:2 diPAP)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l

Bijlage 4. Kaarten PFAS in grondwater

PFAS in freatisch grondwater



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Waarnemingen som PFOS in Freatisch grondwater



Figuur B4.1 Concentratie som PFOS in freatisch grondwater in ng/l

Waarnemingen som PFOA in Freatisch grondwater



Figuur B4.2 Concentratie som PFOA in freatisch grondwater in ng/l



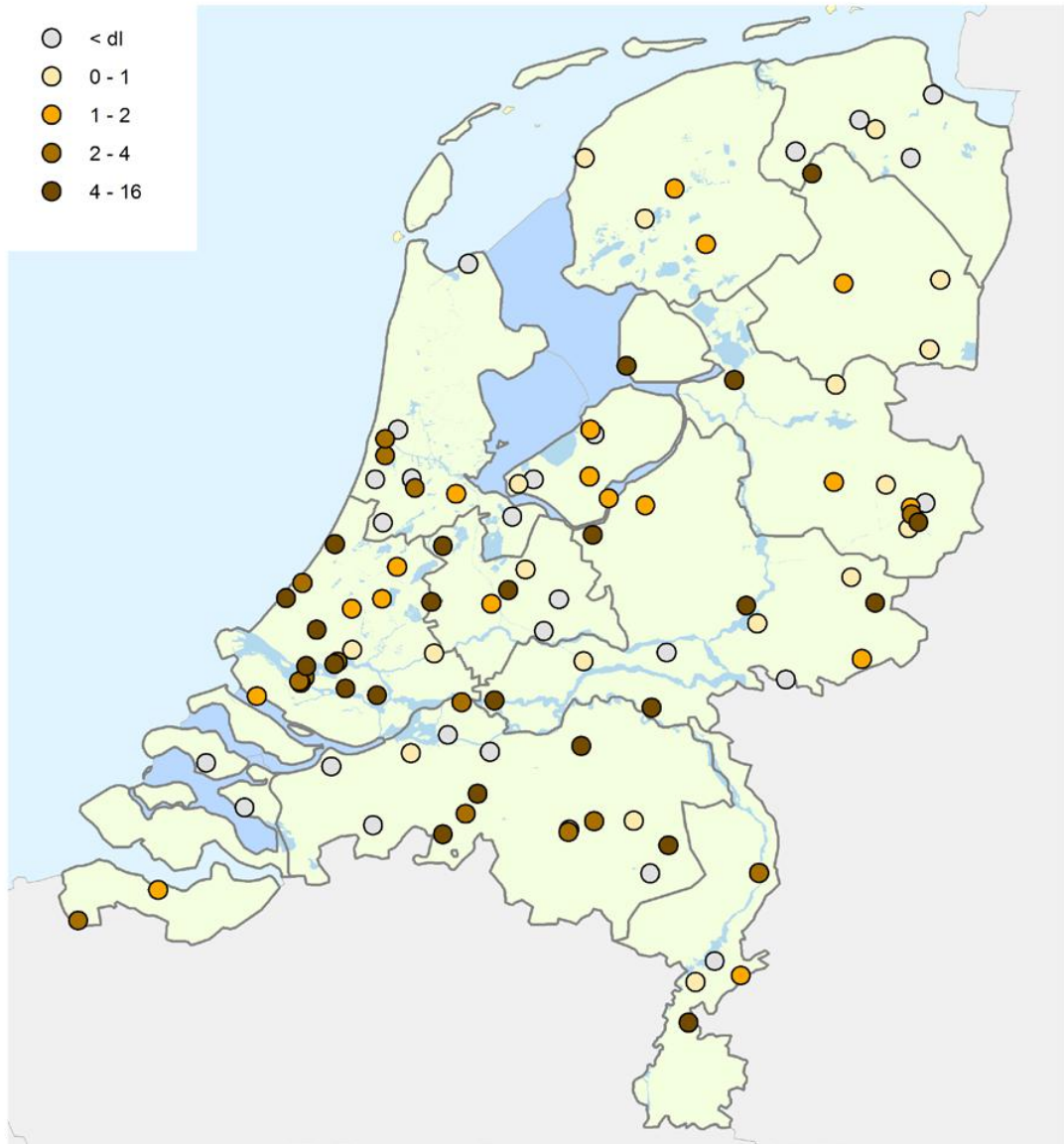
Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Waarnemingen perfluornonaanzuur (PFNA) in Freatisch grondwater



Figuur B4.3 Concentratie PFNA in freatisch grondwater in ng/l

Waarnemingen perfluorheptaanzuur (PFHpa) in Freatisch grondwater



Figuur B4.4 Concentratie PFHpa in freatisch grondwater in ng/l



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Waarnemingen perfluor-1-hexaansulfonaat (PFHxS) in Freatisch grondwater



Figuur B4.5 Concentratie PFHxS in freatisch grondwater in ng/l



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Waarnemingen perfluorhexaanzuur (PFHxA) in Freatisch grondwater



Figuur B4.6 Concentratie PFHxA in freatisch grondwater in ng/l

Waarnemingen perfluoropentaaan-1-sulfonzuur (PFPeS) in Freatisch grondwater



Figuur B4.7 Concentratie PFPS in freatisch grondwater in ng/l

Waarnemingen perfluoropentaanzuur (PFPA) in Freatisch grondwater



Figuur B4.8 Concentratie PFPA in freatisch grondwater in ng/l

Waarnemingen perfluor-1-butaansulfonaat (PFBS) in Freatisch grondwater



Figuur B4.9. Concentratie PFBS in freatisch grondwater in ng/l



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Waarnemingen perfluorbutaanzuur (PFBA) in Freatisch grondwater



Figuur B4.10 Concentratie PFBA in freatisch grondwater in ng/l

PFAS in landelijk meetnet grondwaterkwaliteit (LMG)



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Waarnemingen som PFOS in LMG



Figuur B4.11 Concentratie som-PFOS in het LMG in ng/l



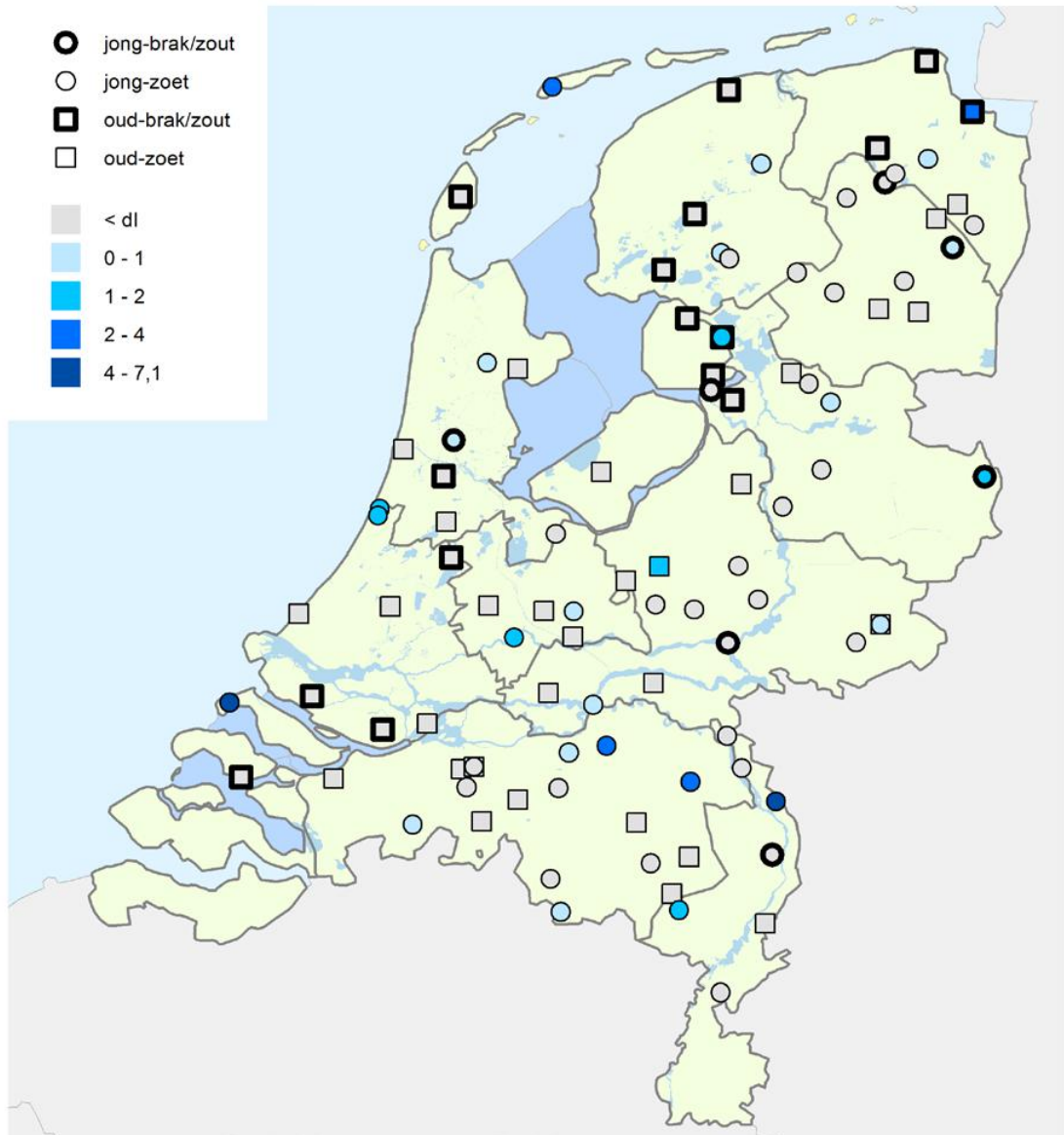
Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Waarnemingen som PFOA in LMG



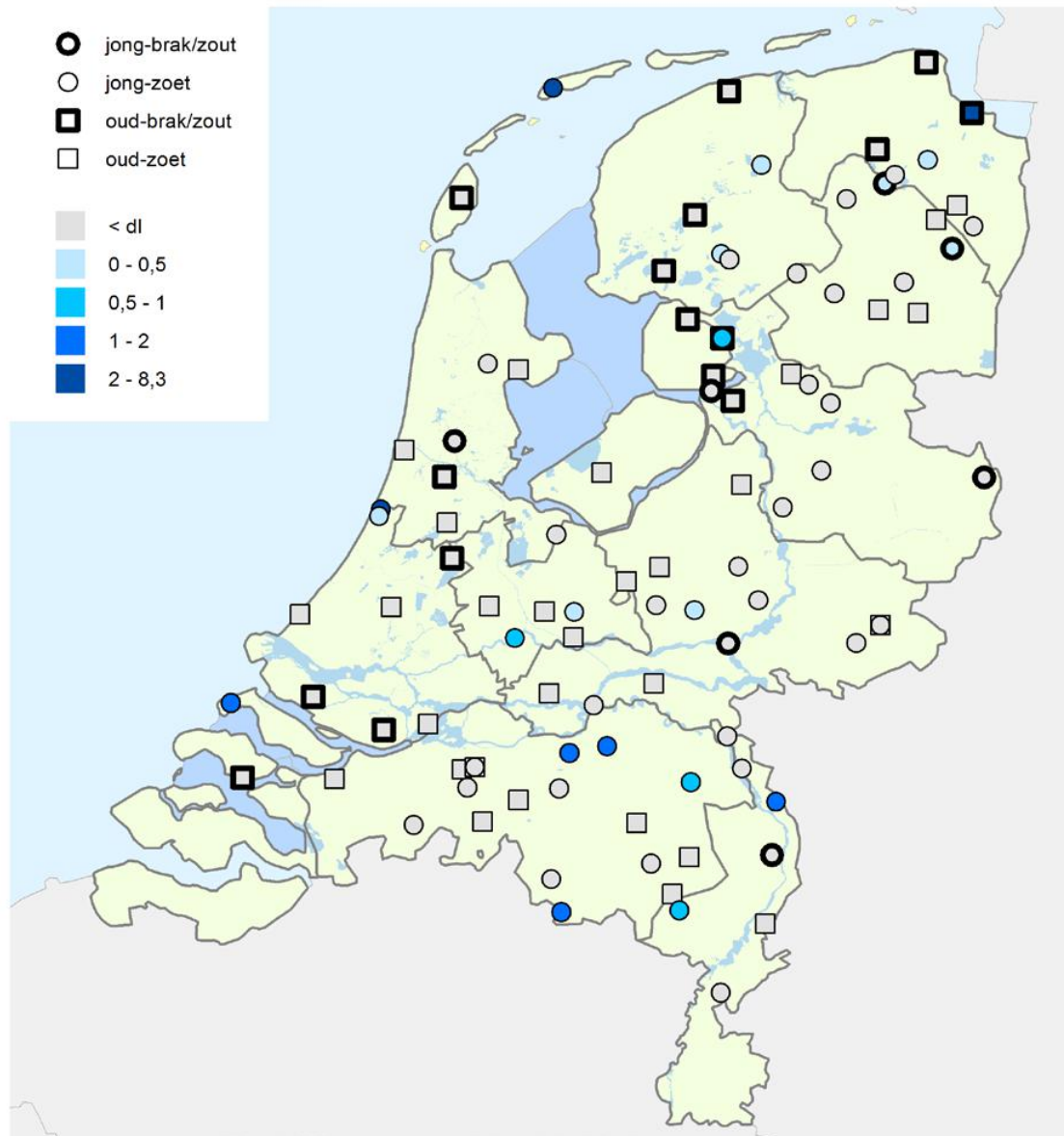
Figuur B4.12 Concentratie som-PFOA in het LMG in ng/l

Waarnemingen perfluorheptaanzuur (PFHpa) in LMG



Figuur B4.13 Concentratie PFHpa in het LMG in ng/l

Waarnemingen perfluor-1-hexaansulfonaat (PFHxS) in LMG

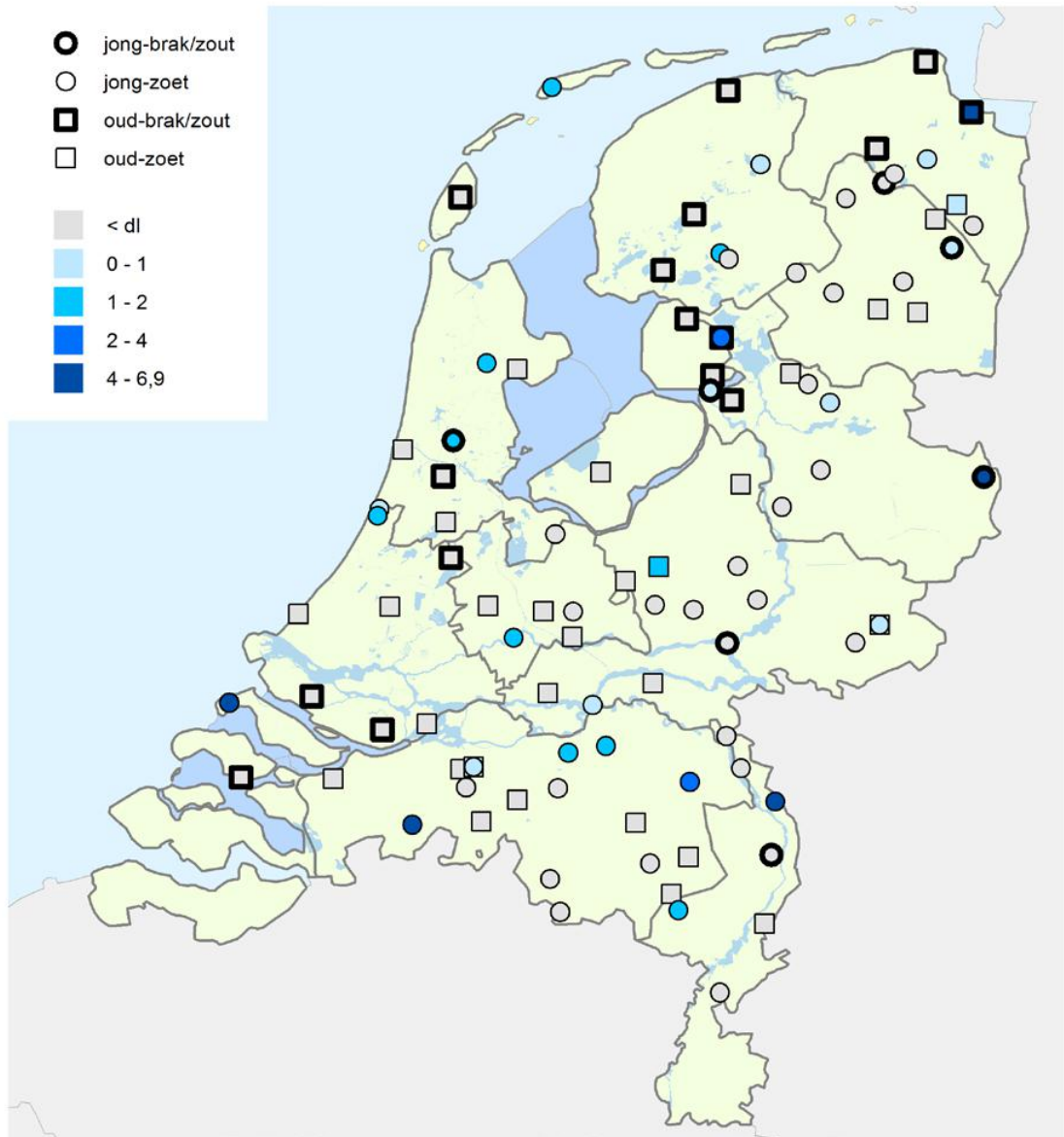


Figuur B4.14 Concentratie PFHxS in het LMG in ng/l



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Waarnemingen perfluorhexaanzuur (PFHxA) in LMG



Figuur B4.15 Concentratie PFHxA in het LMG in ng/l



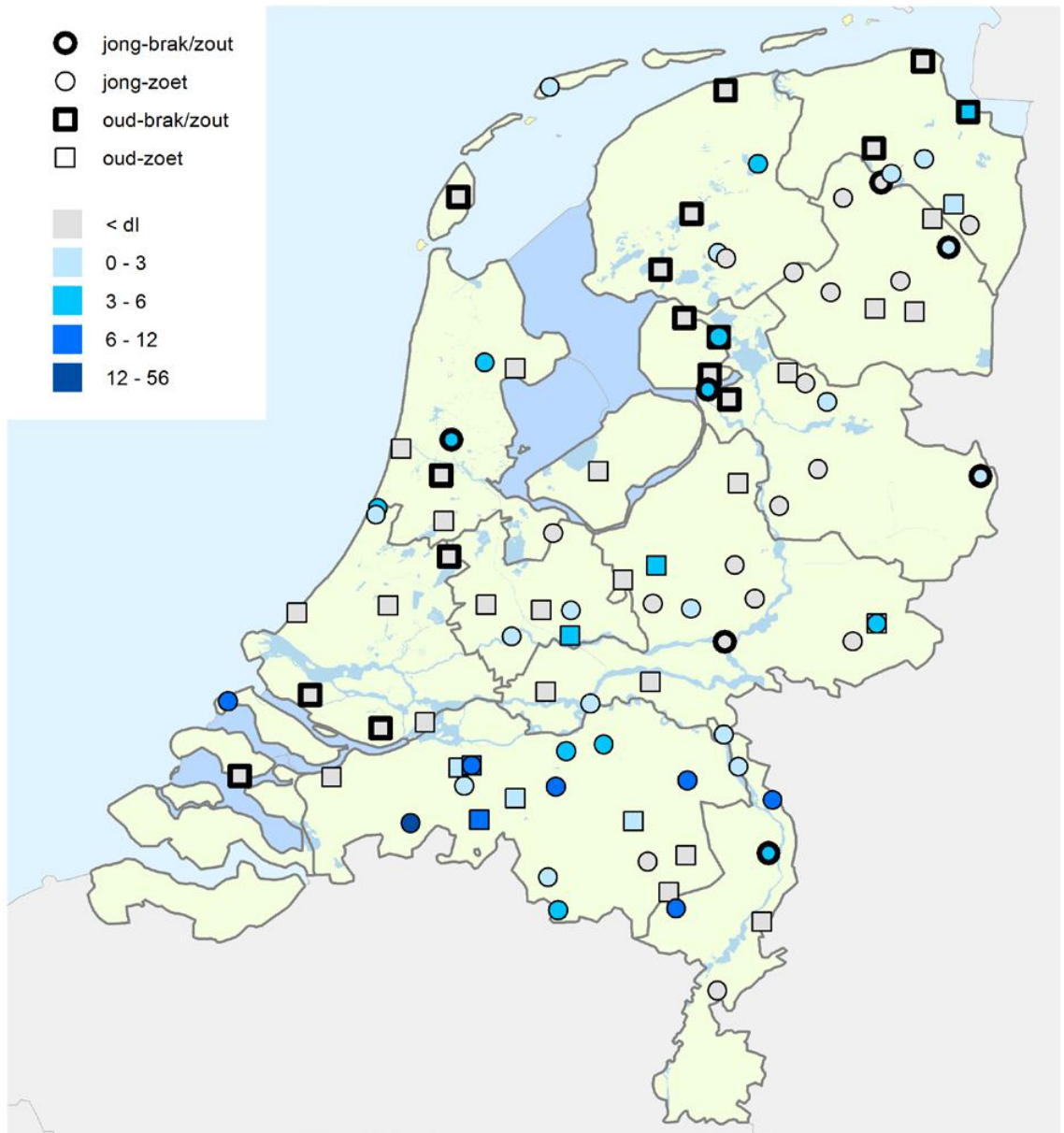
Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Waarnemingen perfluor-1-butaansulfonaat (PFBS) in LMG



Figuur B4.16 Concentratie PFBS in het LMG in ng/l

Waarnemingen perfluorbutaanzuur (PFBA) in LMG



Figuur B4.17 Concentratie PFBA in het LMG in ng/l

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag

