

Bedrijfstakonderzoek
BTO 2024.064 | Juli 2024

Quick Scan doorwerking landelijke PFAS-deken op grondwaterwinningen

Bedrijfstakonderzoek

KWR

Bridging Science to Practice

Colofon

Quick Scan doorwerking landelijke PFAS-deken op grondwaterwinningen

BTO 2024.064 | Juni 2024

Dit onderzoek is onderdeel van het collectieve Bedrijfstakonderzoek van KWR, de waterbedrijven en Vewin.

Opdrachtnummer

404300-083

Projectmanager

Jos Frijns

Opdrachtgever

BTO - Beleidsonderbouwend onderzoek

Auteur(s)

Dr. Bas van der Grift, Onur Köse, MSc.

Kwaliteitsborger(s)

Dr. Niels Hartog

Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.

Keywords

PFAS,diffuse verontreiniging, bedreiging grondwaterwinning, PFAS verbod

Jaar van publicatie
2024

Meer informatie
dr. Bas van der Grift

T +31 (0)30 60 69 519
E bas.van.der.grift@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

Juli 2024 ©

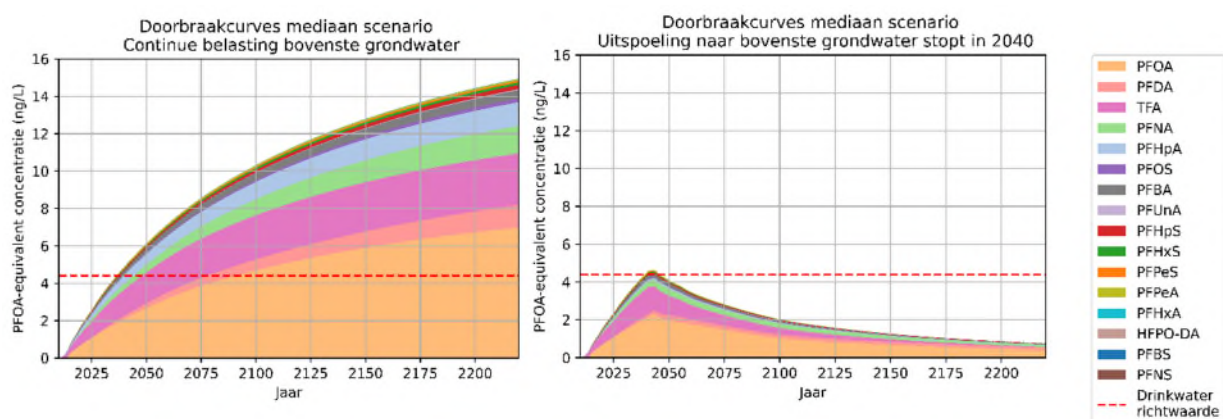
Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen,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

Managementsamenvatting

Verbod op PFAS is effectief voor bescherming drinkwaterbronnen

Auteur(s) Bas van der Grift en Onur Köse

De diffuse belasting van de bodem met PFAS bedreigt grondwaterwinningen in Nederland. Met een quick scan is deze bedreiging in beeld gebracht: voor relatief kwetsbare grondwaterwinningen zijn indicatieve berekeningen uitgevoerd naar de ontwikkeling van PFAS-concentraties in grondwater onttrokken voor drinkwaterproductie gedurende de komende 200 jaar. Hiervoor zijn PFAS-concentraties gebruikt die momenteel in het bovenste grondwater worden gemeten en stofspecifieke bindingseigenschappen van PFAS aan bodemdeeltjes. Uit de berekeningen blijkt dat bij gelijkblijvende PFAS-concentraties in het bovenste grondwater de drinkwaterrichtwaarde van 4,4 ng PEQ/L op een termijn van circa 20 jaar wordt overschreden. Uit de scenarioberekeningen volgt dat een verbod op PFAS effectief is, maar waarschijnlijk te laat komt om overschrijdingen volledig te voorkomen. Aanvullende zuivering van onttrokken grondwater zal dan tijdelijk nodig zijn: het is onzeker wanneer precies en voor hoe lang, dat verschilt ook per locatie. De quick scan wijst uit dat dit al binnen 10 jaar het geval kan zijn.



PFAS doorbraak in onttrokken grondwater als PFOA-equivalent concentratie (PEQ) bij continue belasting van het bovenste grondwater (links) en het stoppen van de PFAS uitspoeling naar grondwater in 2040 als gevolg van een PFAS verbod in 2025 (aangenomen: PFAS verblijftijd van 15 jaar in de onverzadigde zone).

Belang: doorwerking van PFAS-deken op grondwaterwinningen inzichtelijk maken

Door atmosferische depositie, gebruik van bestrijdingsmiddelen en afspoeling van verhard oppervlak is de bodem in Nederland diffuus belast met PFAS. Het is van belang te weten of en in hoeverre deze "PFAS-deken" een mogelijke bedreiging vormt voor grondwaterwinningen.

Aanpak: AquaPriori modellering van een kwetsbare grondwaterwinning voor twee scenario's

Om de doorwerking van de PFAS-deken op kwetsbare grondwaterwinningen in beeld te krijgen is een quick scan uitgevoerd. Daarbij is de ontwikkeling van de PFAS-concentraties in grondwater dat wordt

onttrokken voor drinkwaterproductie berekend voor de komende 200 jaar aan de hand van een eenvoudig grondwatermodel. Dit moet een indicatief inzicht geven of en zo ja wanneer de PFAS-concentraties de drinkwaterrichtwaarde zullen overschrijden en welk effect te verwachten valt van een totaal verbod op PFAS-productie.

Op basis van een reistijdverdeling en stroombanenpatroon voor een fictieve maar realistische kwetsbare grondwaterwinning is met het AquaPriori-model de ontwikkeling van PFAS-concentraties in onttrokken grondwater berekend. Voor deze berekening zijn PFAS-concentraties in het bovenste grondwater gebruikt die momenteel worden gemeten. Ook is

rekening gehouden met het stofspecifieke retardatiegedrag van PFAS in de bodem. Er zijn twee scenario's doorgerekend. Het eerste is een mediaan-scenario, dat indicatief is voor een 'normaal' diffuus belast gebied en uitgaat van de 50-percentiel van gemeten PFAS-concentraties in het bovenste grondwater. Het tweede is een bovengrens-scenario voor een hoog diffuus belast gebied, dat uitgaat van de 90-percentiel waardes van gemeten PFAS-concentraties. Voor beide scenario's is een variant doorgerekend met continue PFAS-uitspoeling vanuit de bodem en een variant waarbij het grondwater over een periode van 30 jaar (2010-2040) belast is met PFAS-uitspoeling vanuit de bodem, waarna deze uitspoeling vervolgens stopt. Het idee achter deze variant is dat als de PFAS-productie op korte termijn stopt, het nog 15 jaar duurt voordat effecten zichtbaar worden op de concentraties in het bovenste grondwater.

Resultaten: drinkwaterrichtwaarde overschreden bij gelijkblijvende concentraties in het bovenste grondwater

Als toetsingswaarde hebben we gerekend met de drinkwaterrichtwaarde van 4,4 ng/L PFOA equivalent (PEQ) die door het RIVM is afgeleid. Dit is een somconcentratie van PFAS-verbindingen die rekening houdt met de verschillen in toxiciteit van de verschillende stoffen. De resultaten van deze quick scan laten een aantal zaken zien:

- Als gevolg van de PFAS-deken bevat het huidige bovenste grondwater een dusdanig hoge PFAS-concentratie (mediaan: 20 PEQ/L, P90: 99 PEQ/L) dat onttrokken grondwater van een kwetsbare grondwaterwinning na circa 20 jaar de richtwaarde (4,4 ng PEQ/L) zal overschrijden.
- In gebieden met een hoge diffuse belasting kan dit jaren eerder het geval zijn.
- Bij gelijkblijvende PFAS-concentraties in het bovenste grondwater wordt PEQ in het onttrokken grondwater in 2100 2 tot 10 keer hoger dan de richtwaarde.
- Bij het scenario waarin de PFAS-uitspoeling naar het bovenste grondwater in 2040 stopt, zal de PFAS-concentratie in het onttrokken grondwater rond 2045 pieken en vervolgens langzaam afnemen. In het mediaan-scenario wordt in dit geval in 2045 de drinkwaterrichtwaarde van 4,4 ng PEQ/L tijdelijk net overschreden. In het bovengrens-scenario is dit veel duidelijker het geval.

- De verschillen in mobiliteit van de verschillende PFAS in de ondergrond leiden tot verschillen in vertraging van doorbraak van PFAS in onttrokken grondwater. De kort-ketens PFAS stromen met vrijwel eenzelfde snelheid als het grondwater richting de onttrekkingsbron, PFAS met langere CF-ketens veel langzamer. PFAS met CF ketenlengtes langer dan 10 zijn zeer beperkt mobiel in de ondergrond en vormen daarom ook op relatief langere termijn waarschijnlijk geen bedreiging voor grondwater voor drinkwaterproductie.

Deze quick scan gaat ervanuit dat door uitspoeling uit de bodem PFAS vanaf 2010 met een constante concentratie de grondwaterspiegel bereikt. Omdat PFAS reeds rond 1950 werd geproduceerd, zal de werkelijke PFAS-belasting van grondwater deels al eerder zijn begonnen, maar de PFAS-samenstelling en concentratieontwikkeling daarvan zijn onbekend. Ook valt zeker niet uit te sluiten dat de concentraties in het ondiepe grondwater in de toekomst nog verder zullen toenemen, zelfs bij een stop van PFAS-productie in 2025, omdat de piekvrucht aan PFAS uit de PFAS-deken mogelijk voor een belangrijk deel nog in de onverzadigde zone aanwezig is. Anderzijds is de productie van PFOA en PFOS al een tijd verboden, het is onbekend wanneer dit effect heeft op de uitspoeling naar het bovenste grondwater. Dit alles maakt onzeker dat (zoals aangenomen in het 'stoppen-met-PFAS'-scenario) de concentratie in het bovenste grondwater vanaf 2040 nul zal zijn. Onbekend is hoe lang deze stoffen na-ijlen in uitloging naar het grondwater wanneer de PFAS-productie volledig stopt en welk effect afbraak van PFAS-precursoren heeft op de concentraties PFAS-20.

Toepassing: PFAS-verbod is effectief, maar mogelijk te laat om overschrijden richtwaarde te voorkomen

Een verbod op PFAS is effectief voor grondwaterwinningen, maar waarschijnlijk komt het te laat om tijdelijke overschrijding van de drinkwaterrichtwaarde te voorkomen, zodat aanvullende zuivering van onttrokken grondwater nodig is. Onzeker is wanneer deze zuivering precies moet worden ingezet en voor hoe lang – dat zal ook per locatie verschillen. Dit moment kan al snel komen.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Quick Scan effecten landelijke PFAS-deken op grondwaterwinningen* (BTO 2024.064).

Inhoud

Colofon	2
<i>Managementsamenvatting</i>	3
Inhoud	5
1 Inleiding	6
2 AquaPriori modellering	8
3 Resultaten en discussie	13
3.1 Aannames en onzekerheden	15
4 Conclusies	17
Referenties	18



Meer informatie

dr. Bas van der Grift
T 030-6069519
E Bas.van.der.Grift@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

1 Inleiding

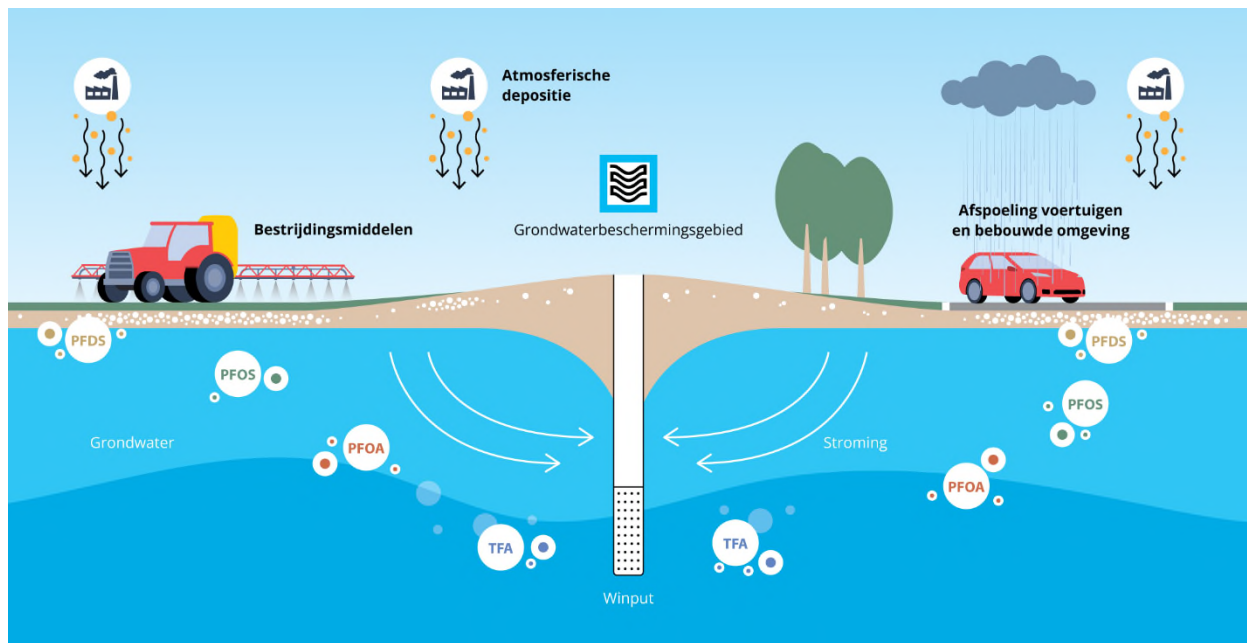
De verontreiniging van water door PFAS (Per- en polyfluoralkylstoffen) staat momenteel volop in de belangstelling. Vaak gaat de aandacht naar oppervlaktewater waarin PFAS in verhoogde concentraties is aangetroffen of PFAS verontreinigde locaties zoals (voormalige) fabrieksterreinen, brandbluslocaties en defensie terreinen. Naast deze specifieke locaties is er in Nederland ook sprake van een PFAS belasting die diffuus over grotere gebieden, als een dekkentje, over de Nederlandse bodem wordt uitgespreid. Belangrijke bronnen van deze diffuse PFAS belasting zijn atmosferische depositie, het gebruik van PFAS houdende bestrijdingsmiddelen en afspoelend regenwater dat met PFAS verontreinigd is. De bronnen achter atmosferische depositie zijn veelkoppig, hierbij moet onder andere gedacht worden aan fabrieken, afvalverbrandingsinstallatie en fluorhoudende gassen uit lekkende koelinstallatie/airconditionings. Dit laatste betreft vooral zeer korte ketens PFAS die zeer mobiel zijn in de ondergrond. PFAS wordt in toenemende mate gebruikt in bestrijdingsmiddelen om de effectiviteit en stabiliteit van het product te verbeteren. In ongeveer 50% van de nieuwe producten die tussen 2016 en 2022 op de markt zijn gekomen bevat het actieve ingrediënt één of meer gefluoreerde componenten (Jeschke, 2023) en het gebruik van dit soort middelen neemt toe (PAN Europe, 2023). Afspoelend hemelwater is nog een tamelijk onbekende bron van diffuse PFAS belasting. Een recent uitgevoerde studie heeft laten zien dat dit wel van belang kan zijn. Met name in voertuigen worden veel verschillende soorten PFAS gebruikt, bijvoorbeeld in smeermiddelen, waxen en coatings. Via afspoeling van deze voertuigen komt PFAS in het milieu terecht (Speijer et al., 2023). Dit afspoelende hemelwater zal vooral in wegbermen terecht komen. Bij recent uitgevoerd onderzoek zijn relatief hoge PFAS concentratie in het grondwater onder wegbermen aangetroffen (Visser, 2023). Dit afspoelende hemelwater zal dit niet overal de bodem belasten maar wel als lijnbronnen in het landschap aanwezig zijn.

Het is belangrijk om de toekomstige gevolgen van deze PFAS-deken op grondwaterwinningen voor drinkwaterproductie in te schatten omdat, in tegenstelling tot oppervlaktewater, de verontreiniging van grondwater vanaf maaiveld weliswaar relatief langzaam gaat, maar op termijn tot onherstelbare aantasting van grondwater als bron voor drinkwater kan leiden. PFAS kan hierbij met de infiltrerende grondwateraanvulling (neerslagoverschot) uitspoelen naar het bovenste grondwater en vervolgens verder stromen richting de grondwaterbronnen (Figuur 1.1). Hierbij moet bedacht worden dat de PFAS gehalten in de bodem in diffuus belaste gebieden op enkele microgrammen/kg droge stof ligt terwijl de door RIVM afgeleide richtwaarde voor drinkwater in nanogram/L is. In gewichtsprocenten een factor 1000 lager dan voor bodem. Dit sluipende risico speelt ook in andere Europese landen. Het is daarom van belang om een indicatie van het risico op overschrijding veilige waarden in het onttrokken grondwater te

AquaPriori-Subsurface is een webapplicatie die recentelijk door KWR is ontwikkeld om een eerste inschatting te maken van het risico op de doorbraak van (nieuwe) organische microverontreinigingen in grondwaterwinningsputten (Van der Grift et al., 2024). *AquaPriori* berekent op basis van hydrologische kenmerken van een gestandaardiseerd type drinkwaterwinning een stroombanenpatroon en bijbehorende reistijdverdeling van het onttrokken grondwater. Vervolgens wordt langs deze stroombanen de retardatie en afbraak van de organische microverontreiniging berekend. De verschillende types drinkwaterwinningen in *AquaPriori-Subsurface* zijn: een freatische grondwaterwinning, een semi-spanningswater grondwaterwinning een oeverinfiltratiewinning en een duininfiltratie winning. De stoffeigenschaften voor transport en verwijdering van stoffen tijdens transport door de ondergrond worden opgehaald uit online database met sorptie en afbraakparameters of kunnen door de gebruiker worden gespecificeerd. Om dit te ondersteunen genereert *AquaPriori-Subsurface* voor de te modelleren stof een overzicht van bekende op veldmetingen gebaseerde halfwaardetijden uit internationale wetenschappelijke literatuur en uit metingen in Nederlandse meetraaien voor grondwaterkwaliteit.

AquaPriori-Subsurface wordt onderdeel van de risicotoolbox grondwater van het RIVM: <https://www.risicotoolbox-bodem.nl/grondwater/>

krijgen. Het doel van deze quick scan was om, met behulp van een *AquaPriori* modellering (zie tekstbox hieronder), een indruk te krijgen van de te verwachten PFAS concentraties over de komende 200 jaar in een kwetsbare grondwaterwinning en de effectiviteit van een Europees totaalverbod op PFAS productie, gebruik, import en verkoop. Hiervoor dienden onderbouwde aannames gemaakt te worden over de aanwezigheid van PFAS in het ondiepe grondwater als gevolg van atmosferische depositie en de overige diffuse bronnen. Vervolgens wordt de uitspoeling van 21 PFAS die relevant zijn voor de Europese norm aangevuld met TFA en HFPO-DA (GenX) naar de diepere aquifers en bronnen voor drinkwater ingeschat.



Figuur 1.1. Diffuse PFAS bronnen die zorgen voor een PFAS-deken en het transport door de ondergrond richting een drinkwaterbron.

2 AquaPriori modellering

Met de AquaPriori webtool (zie tekstbox in voorgaand hoofdstuk) is de doorbraak van verschillende PFAS in een onttrekkingsput van een typische freatische grondwaterwinning in Nederland doorgerekend. Dit soort ondiepe winningen wordt van bovenaf niet beschermd door een weerstandbiedende (klei)laag en het onttrokken grondwater is daardoor relatief jong. Uitgangspunt voor de berekeningen zijn de PFAS-20 van de nieuwe Europese Drinkwaterterrichtlijn (DWR) aangevuld met TFA en HFPO-DA (GenX). De mobiliteit van deze stoffen in de ondergrond bepaalt hoe snel deze stoffen in onttrokken grondwater terecht komen. Deze mobiliteit is sterk stof specifiek en neemt af met toenemende CF₂-ketenlengte.

In deze quick scan is aangenomen dat PFAS tijdens transport door de ondergrond niet wordt afgebroken. Dit is een gangbaar uitgangspunt volgens de huidige stand van wetenschappelijke kennis over PFAS gedrag in de ondergrond. De snelheid van doorbraak in het door een pompput onttrokken grondwater wordt hiermee alleen bepaald door de mate van adsorptie van PFAS aan bodemmateriaal. Voor de modellering van de adsorptie is gebruik gemaakt van stof specifieke lineaire partiticoëfficiënten die uitgaan van binding van PFAS aan organisch materiaal, en minerale bodemdeeltjes (silt en klei fractie), zie paragraaf hieronder.

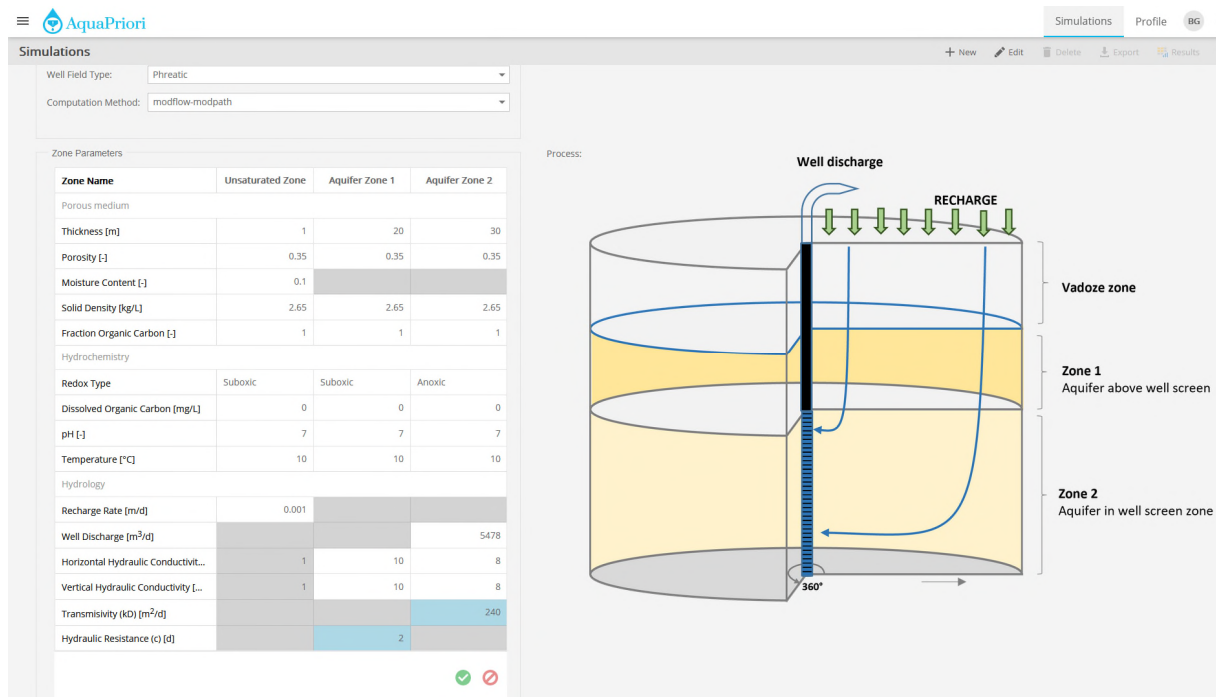
Ten behoeve van de AquaPriori modellering is de volgende input opgesteld: 1) de reistijdverdeling van de grondwaterwinning 2) gehalten aan reactieve bodembestanddelen die PFAS kunnen adsorberen, 3) stof specifieke partiticoëfficiënten voor de verschillende PFAS en 4) input concentratie van PFAS in het bovenste grondwater.

Grondwaterwinning

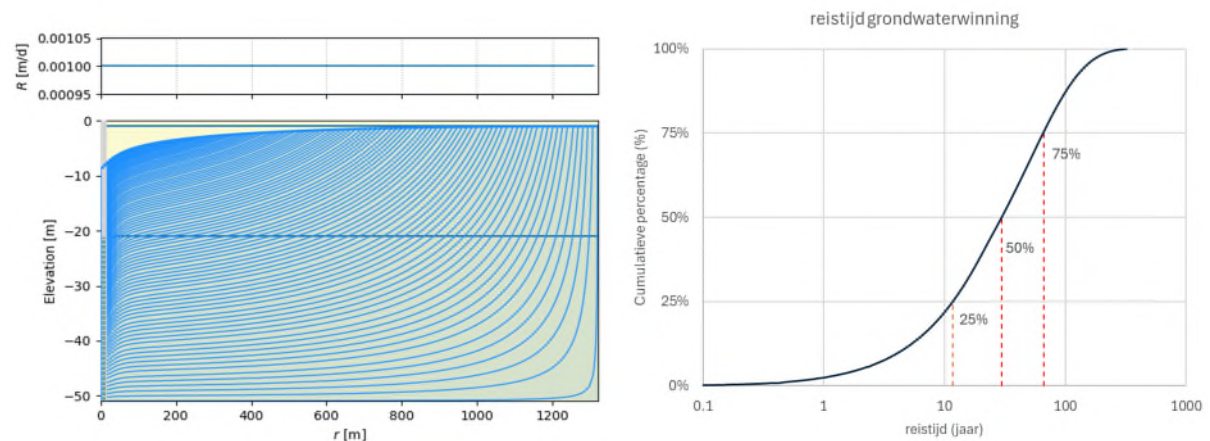
De grondwaterwinning is geschematiseerd met 3 lagen: een onverzadigde zone, een aquifer boven de onttrekkingsput en een aquifer op de diepte van de onttrekkingsput (Figuur 2.1). De winning moet worden geparameteriseerd met hydrologische kentallen zoals de diepte en het debiet van de onttrekking, geohydrologische opbouw van de ondergrond, het neerslagoverschot en kenmerken die van belang zijn voor het stoftransport zoals het organische stofgehalte, siltgehalte en kleigehalte. Hydrologisch is de fictieve grondwaterwinning van deze quick scan in AquaPriori zodanig geparameteriseerd dat deze representatief is voor een relatief kwetsbare grondwaterwinning in Nederland. Het betreft een grondwaterwinning van 2 miljoen m³/jaar op een diepte van 20 tot 50 m-mv en een neerslagoverschot van 1 mm/dag.

Volgens het door AquaPriori berekende stroombanenpatroon en de reistijdverdeling (Figuur 2.2) is 25% van het onttrokken grondwater jonger dan 11.7 jaar, 50% is jonger dan 30 jaar en 75% is jonger dan 66 jaar. De maximale reistijd van het grondwater is ongeveer 300 jaar.

Representatieve gehalten aan reactieve bodembestanddelen in het aquiferzand zijn toegekend op basis van gangbare geochemische kennis: organisch materiaal 0.4% (= 0.2% organisch koolstof), lutum 2% en silt 1%.



Figuur 2.1. Schematisatie en parameterisatie freatische grondwaterwinning in AquaPriori.



Figuur 2.2. Stroombanenpatroon en cumulatieve reistijdverdeling van de freatische grondwaterwinning.

Stof specifieke partiticoëfficiënten

De stof specifieke partiticoëfficiënten voor de PFAS-20, TFA en HFPO-DA zijn afgeleid op basis van literatuurwaardes (Tabel 2.1). Hiervoor is de methode van Fabregat-Palau (2021) gebruikt, waarbij de partiticoëfficiënt (K_d) wordt uitgerekend op basis van een verdelingscoëfficiënt voor organisch koolstof (K_{oc}) en een verdelingscoëfficiënt voor minerale bodembestanden (K_{min}) in combinatie met het gehalte aan organisch materiaal, lutum en silt. Dit is een verbeterde aanpak ten opzichte van het klassieke concept voor stoftransport in bodems waarbij alleen de adsorptie aan organisch materiaal wordt beschouwd. Op basis van de partiticoëfficiënt, de bulkdichtheid en de porositeit van het aquiferzand berekent AquaPriori vervolgens de retardatiefactor. De PFAS met een berekende retardatiefactor groter dan 50 zijn niet in de AquaPriori modelberekeningen meegenomen. Deze zullen op een termijn van 200 jaar geen bedreiging vormen voor de grondwaterwinning.

De mobiele PFAS waarvoor doorbraak is berekend betreft een serie vanaf de (ultra) korte ketens tot aan langere ketens carboxylen: TFA, PFBA, PFBS, PFPeA, PFPeS, PFHxA, PFHxS, PFHpA, PFHpS, HFPO-DA, PFOA, PFOS, PFNA, PFNS, PFDA en PFUnA. Hierbij is TFA de kleinste en meest mobiele (minste retardatie) en PFUnA de langste en minst mobiele van de beschouwde PFAS.

Tabel 2.1. PFAS partiticoëfficiënten aan organisch koolstof en minerale bodembestanddelen in het aquiferzand berekend volgens de methode van Fabreat-Palau (2021) uitgaande van 0.4% organisch materiaal, 2% lutum en 1% silt en de retardatiefactor op basis van een bulkdichtheid van 1.69 kg/L en een porositeit van 0.35.

	Kd organisch koolstof	Kd mineraal	Kd totaal	retardatiefactor	gemodelleerd
PFBS	0.022	0.01	0.04	1.2	ja
PFPeS	0.045	0.02	0.07	1.3	ja
PFHxS	0.100	0.04	0.14	1.7	ja
PFHpS	0.296	0.10	0.40	2.9	ja
PFOS	1.218	0.28	1.50	8.2	ja
PFNS	1.954	0.45	2.41	12.6	ja
PFDS	9.210	0.95	10.16	50	nee
PFUnDS	12.913	1.98	14.90	73	nee
PFDoDS	33.192	4.14	37.33	181	nee
PFTTrDS	85	8.6	94	455	nee
TFA	0.001	0.00	0.00	1.0	ja
PFBA	0.006	0.01	0.019	1.1	ja
PFPeA	0.030	0.01	0.04	1.2	ja
PFHxA	0.030	0.01	0.04	1.2	ja
PFHpA	0.100	0.05	0.15	1.7	ja
PFOA	0.214	0.10	0.313	2.5	ja
PFNA	0.648	0.06	0.71	4.4	ja
PFDA	1.208	0.42	1.63	8.9	ja
PFUnA	4.892	0.75	5.64	28.2	ja
PFDoA	10.742	6.87	17.61	86.0	nee
PFTTrA	33.192	4.14	37.33	181.3	nee
HFPO-DA	0.045	0.02	0.07	1.33	ja

PFAS concentratie in het bovenste grondwater

Voor de quick scan is aangenomen dat de samenstelling en concentraties van de verschillende PFAS in het ondiepe grondwater constant zijn in de tijd. De samenstelling van het ondiepe grondwater is bovendien homogeen over het hele intrekgebied. De berekening start in 2010 en is vervolgens wordt 200 jaar doorgerekend. De samenstelling van het ondiepe grondwater is gebaseerd op PFAS concentraties die recentelijk in Nederland zijn gemeten. Om voor zoveel als mogelijk verschillende PFAS informatie te hebben is gebruik gemaakt van de metingen van het freatisch grondwatermeetnet in de provincie Utrecht (Vissers, 2023) en de freatische metingen die door het RIVM zijn uitgevoerd in het kader van het landsdekkend beeld van PFAS in Nederlands grondwater (Wintersen et al., 2021) (Tabel 2.2). Voor het freatisch meetnet van de provincie Utrecht is mediaanconcentratie (50% van de metingen een hogere en lagere concentratie) en P90 (90% van de metingen een lagere concentratie) berekend uit de gehele dataset en voor de RIVM is de P50 en P95-percentielwaarde uit de rapportage overgenomen (de originele dataset waarop deze waarden zijn gebaseerd waren niet beschikbaar tijdens uitvoering van deze quick scan).

Met deze waarden zijn twee scenario's opgesteld waarbij het P90-scenario gezien kan worden als een bovengrensscenario voor diffuse verontreiniging en het P50-scenario als een middenmoot-scenario (Tabel 2.2).

Voor een aantal stoffen is de mediaanwaarde of zelfs de P90/P95 waarde in beide datasets gelijk aan de aantoonbaarheidsgrens (LOQ). Voor het mediaan-scenario is in dit geval gekozen om de helft van de laagste LOQ (Utrecht of RIVM) als modelinvoer te gebruiken. In het bovengrens-scenario is de laagste LOQ als modelinvoer gebruikt.

Tabel 2.2. Mediaan en P90/P95 concentratie van de PFAS-20, TFA en HFPO-DA van de freatische grondwater metingen van de provincie Utrecht en het RIVM, PFAS concentratie modelinvoer voor het mediaan- en bovengrens-scenario en de Relatieve Potentie Factoren (RPF) afgeleid door RIVM (RIVM, 2023; Van der Aa et al., 2022).

PFAS-20	P50 Utrecht	P90 Utrecht	P50 RIVM	P95 RIVM	mediaan scenario	bovengrens scenario	RPF
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	
PFBS	2.4	9.9	3.2	20	2.4	9.9	0.001
PFPeS	0.5	0.5	0.3	1.2	0.15	1.2	0.6
PFHxS	0.5	1.5	0.6	7	0.25	1.5	0.6
PFHpS	-	-	0.3	0.3	0.15	0.3	2
PFOS	0.5	0.5	0.3	6.7	0.15	6.7	2
PFNS	-	-	-	-	0.1 ^{a)}	0.1 ^{a)}	-
PFDS	-	-	-	-	-	-	2
PFUnDS	-	-	-	-	-	-	-
PFDoDS	-	-	-	-	-	-	-
PFTTrDS	-	-	-	-	-	-	-
TFA	1410	4910	-	-	1410	4958	0.002
PFBA	9.1	23	5.5	21	9.1	23	0.05
PFPeA	0.5	4.8	1.7	15	1.7	4.8	0.05
PFHxA	1.6	6.5	1.8	15	1.6	6.5	0.01
PFHpA	0.5	3.7	1.4	10	1.4	3.7	1
PFOA	8.7	47	6	43	8.7	47	1
PFNA	0.5	0.5	0.6	1.5	0.25	1.5	10
PFDA	-	-	0.6	0.6	0.3	0.6	10
PFUnA	-	-	-	-	0.1 ^{a)}	0.1 ^{a)}	4
PFDoA	-	-	-	-	-	-	3
PFTTrA	-	-	-	-	-	-	3
HFPO-DA	0.5	0.5	-	-	0.25	0.5	0.06
ΣPFAS					1437	5065	
ΣPFAS-20 (DWR) ^{b)}	37	150	22	143	27	107	
PEQ ^{c)}					20	99	

a) Ingeschat op basis van gemeten concentraties van de andere PFAS

b) PFAS-20 van wettelijk Europese Drinkwaterrichtlijn, TFA en HFPO-DA tellen hierin niet mee

c) PFOA-equivalent concentratie

Voor PFAS waarvan geen meetgegevens in het freatische grondwater beschikbaar zijn maar wel in de modellering wordt meegenomen (PFNS en PFUnA) is de concentratie (conservatief) ingeschat op basis van de gemeten concentraties van de andere PFAS.

Voor de PFAS waarvoor in Tabel 2.1 is aangegeven dat deze niet in de AquaPriori modellering worden meegenomen (vanwege berekende retardatiefactor groter dan 60) zijn ook geen input concentraties beschikbaar.

Het mediaan- en bovengrens scenario is uiteindelijk samengesteld volgens de volgende getrapte benadering:

1) Indien beschikbaar en > LOQ zijn de P50 en P90 waarden van de provincie Utrecht gebruikt.

- 2) Als P50 Utrecht en P50 RIVM gelijk is aan LOQ dan is de helft van de laagste LOQ als invoerwaarde voor het mediaan-scenario gebruikt.
- 3) Als P50 Utrecht gelijk is aan de LOQ en P50 RIVM groter is dan de LOQ dan is de P50 RIVM als invoerwaarde voor het mediaan-scenario gebruikt.
- 4) Als P90 Utrecht gelijk is aan de LOQ en P95 RIVM groter dan is de P95 RIVM als invoerwaarde voor het bovengrens-scenario gebruikt.

Toetswaarde PFAS concentraties

De overheid bepaalt de kwaliteitseisen waaraan het drinkwater moet voldoen. De wettelijke kwaliteitseisen voor drinkwater staan in het Drinkwaterbesluit. Voor de som van de PFAS-20 van de DWR is de wettelijk toegestane hoeveelheid in drinkwater 100 nanogram per liter (ng/L). Tabel 2.2 maakt duidelijk dat de som van de gemeten P50 concentraties in het bovenste grondwater deze norm niet overschrijdt terwijl dit voor som van de P90/P95 concentraties wel het geval is.

PFAS zijn schadelijker voor de gezondheid dan eerder werd gedacht. Daarom heeft de Nederlandse overheid in 2022 een drinkwaterrichtwaarde voor PFAS vastgesteld van 4,4 ng/L, uitgedrukt als PFOA-equivalenten. Deze richtwaarde zal in de toekomst als wettelijke kwaliteitseis in het Drinkwaterbesluit worden opgenomen.

(www.rivm.nl/pfas/drinkwater). Deze drinkwaterrichtwaarde is in 2021 door het RIVM afgeleid om een cocktail van PFAS in water te toetsen van de EFSA-TWI (Tolereerbare Wekelijkse Inname) van 4,4 ng/kg lichaamsgewicht per week en heeft als uitgangspunt dat drinkwater maximaal 20% mag bijdragen aan de opvulling van de EFSA-TWI voor PFAS (Van der Aa et al., 2021). Deze methode maakt gebruik van kennis over de toxiciteit van individuele PFAS ten opzichte van PFOA, uitgedrukt in relatieve potentie factoren (RPF's), zie Tabel 2.2. De concentraties van individuele PFAS kunnen met deze RPF's worden uitgedrukt in equivalente concentraties PFOA (PFOA-equivalenten, PEQ). De som van deze PEQ-concentraties kan worden vergeleken met de drinkwaterrichtwaarde van 4,4 ng PEQ/L.

Wanneer er alleen inname is van PFAS door consumptie van drinkwater is de EFSA-TWI is door RIVM berekend op 22 ng PEQ/L, ofwel 5 maal de drinkwaterrichtwaarde, uitgaande van 2 liter per dag door een volwassen persoon van 70 kg (Van der Aa et al., 2022). Deze waarde van 22 ng PEQ/L wordt door RIVM gezien als een triggerwaarde waarbij in geval van overschrijding in drinkwater het van belang is dat PFAS concentraties op korte termijn gaan dalen.

De met AquaPriori berekende concentraties in het onttrokken grondwater zijn met de RPF's omgerekend naar PFOA-equivalenten en de som van de PFOA-equivalenten is uitgezet tegen de tijd en kan vergeleken worden met de drinkwaterrichtwaarde van 4,4 ng PEQ/L.

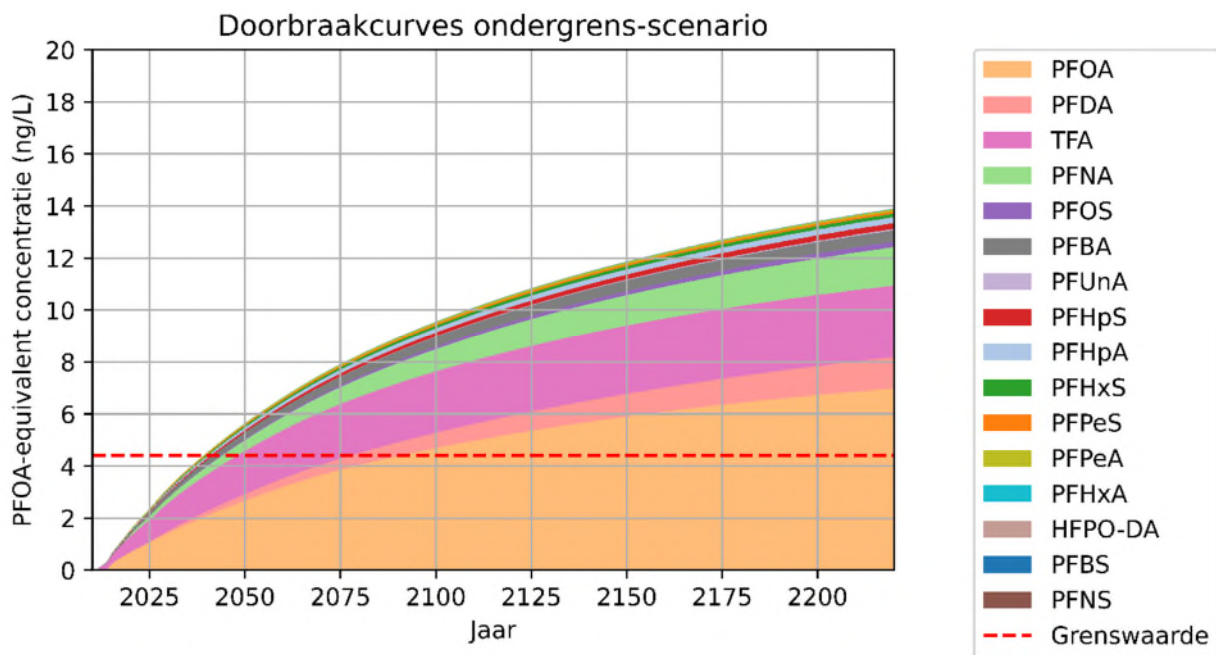
Effect stoppen met PFAS

Om zicht te krijgen op het effect van een Europees verbod op productie, gebruik, verkoop en import van PFAS is met AquaPriori een scenario doorgerekend waarbij de PFAS concentraties in het bovenste grondwater in 2040 op nul worden gezet, na een periode van 30 jaar met constante concentraties (vanaf 2010 tot 2040). Het idee achter dit scenario is dat al ruim voor 2040 de diffuse PFAS belasting aan maaiveld zal beëindigen maar het duurt dan nog een tijd voordat de concentraties in het bovenste grondwater dalen.

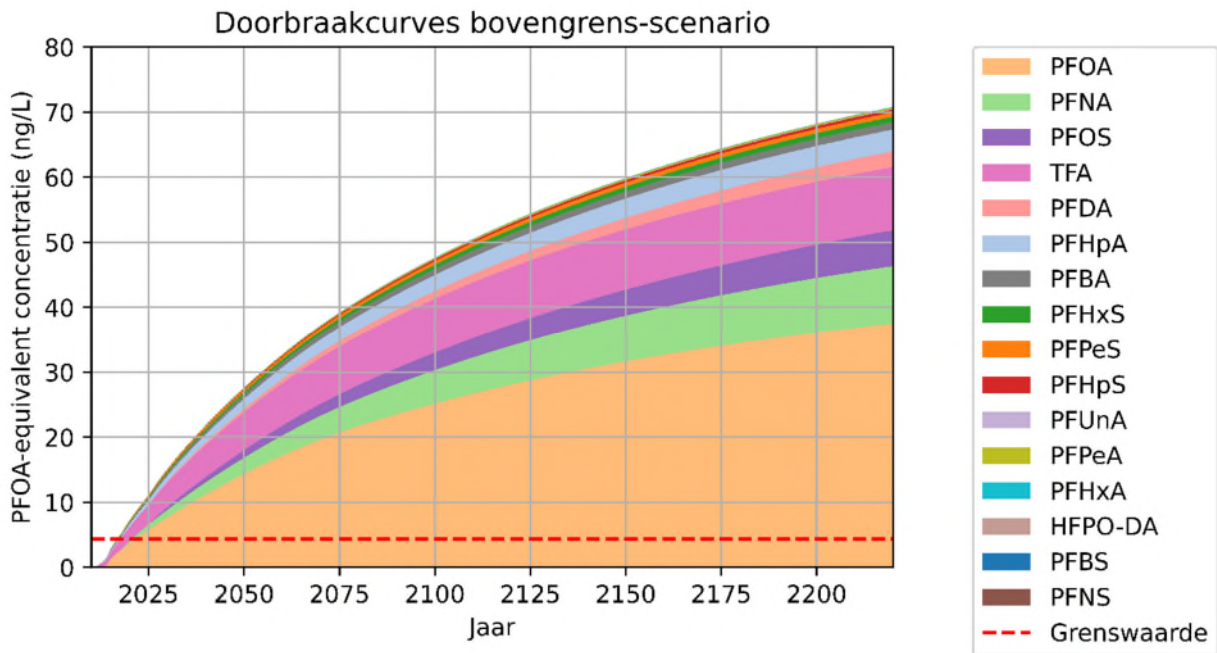
3 Resultaten en discussie

Als gevolg van doorbraak van PFAS uitgedrukt in PFOA-equivalent concentratie (PEQ) in het onttrokken grondwater wordt op termijn in zowel het mediaan- en bovengrens scenario de drinkwaterrichtwaarde van 4,4 ng PEQ/L overschreden (Figuren 3.1 en 3.2). In 2100 is dit voor het mediaan-scenario iets meer dan een factor twee terwijl dit in het bovengrens-scenario iets meer dan een factor 10 betreft. PFOA is in beide scenario's de belangrijkste component in de PEQ-optelling, gevolgd door PFDA, TFA en PFNA en PFOS. De triggerwaarde van 22 ng PEQ/L die RIVM heeft berekend op basis van alleen consumptie van drinkwater wordt in het bovengrens scenario (input 99 ng PEQ/L) ruim overschreden terwijl dit in het mediaan scenario (input 20 ng/L PEQ) niet het geval is (Figuren 3.1 en 3.2).

Om de berekende doorbraakcurves te duiden kunnen deze op gepaste afstand vergeleken worden met PFAS meting in grondwatermonsters voor productie van drinkwater. Vergelijking met gemeten concentraties in onttrokken grondwater is lastig, omdat PFAS logischerwijs op veel plekken (nog) niet aanwezig is in het onttrokken grondwater maar onderweg is naar de winning. Het RIVM heeft op basis individuele pompstations in Nederland gekeken hoe de PFAS-somconcentratie in drinkwatermonsters zich verhouden tot de drinkwaterrichtwaarde van 4,4 ng PEQ/L (Van der Aa et al., 2022). Wanneer in de data uit 2015 tot februari 2021 alleen de EFSA-4 PFAS (PFOA, PFOS, PFNA en PFHxS) worden beschouwd, wordt in 10% van de monsters van grondwater onttrokken voor drinkwaterproductie de drinkwaterrichtwaarde overschreden. Wanneer alle PFAS wordt meegenomen verandert het percentage niet vanwege lage concentraties van de niet-EFSA-4-PFAS. Dit percentage van 10% is in lijn met de resultaten van de AquaPriori modellering waarbij in het mediaan-scenario de drinkwaterrichtwaarde niet wordt overgeschreden en in het bovengrens-scenario, dat gebaseerd is op de P90 waarde van gemeten concentraties in het bovenste grondwater wel het geval is.



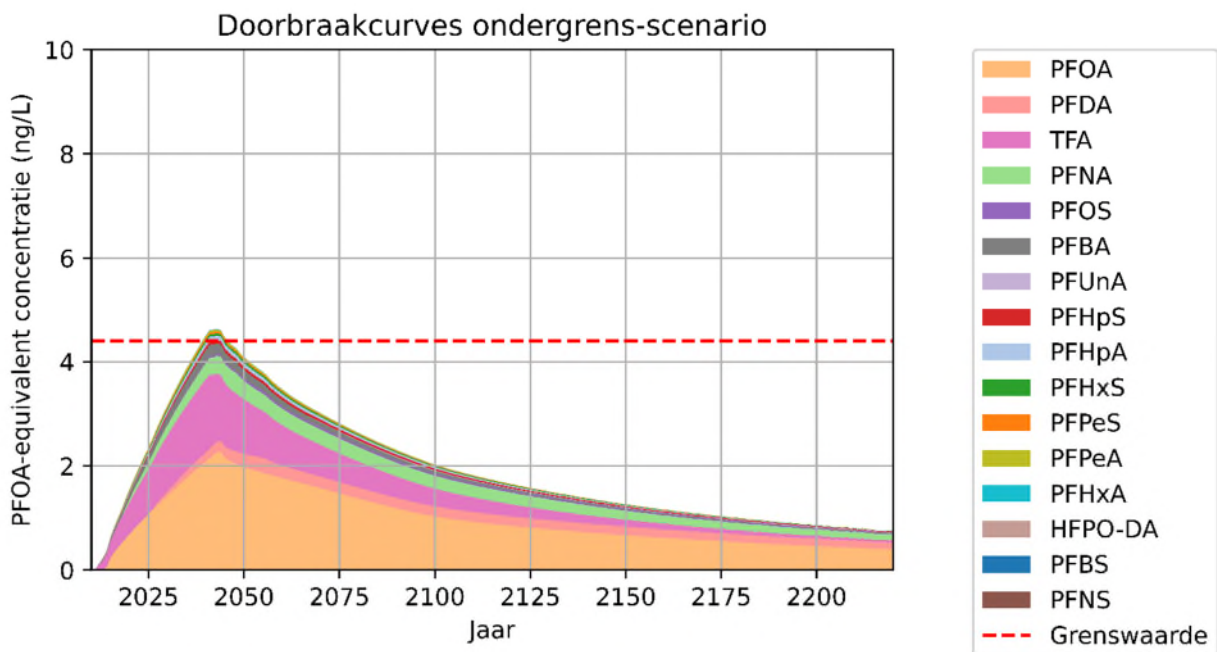
Figuur 3.1. PFAS doorbraak in onttrokken grondwater als PFOA-equivalent concentratie (PEQ) voor het mediaan-scenario. De drinkwaterrichtwaarde is 4,4 ng PEQ/L.



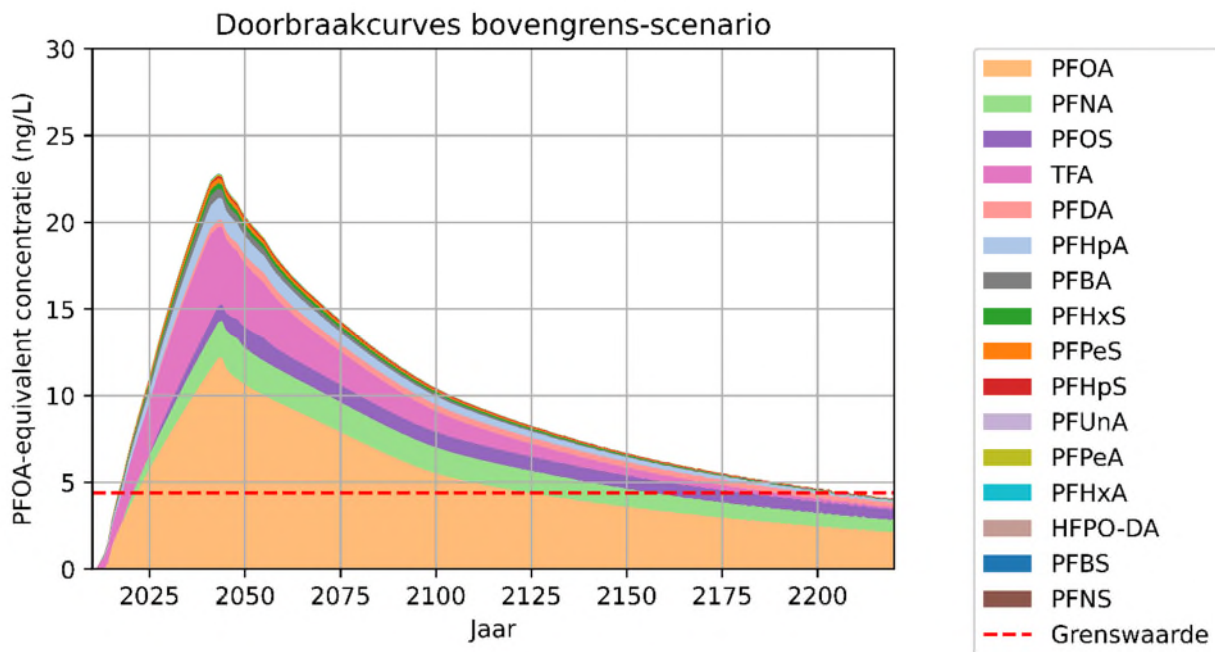
Figuur 3.2. PFAS doorbraak in onttrokken grondwater als PFOA-equivalent concentratie (PEQ) voor het bovengrens-scenario. De drinkwater-richtwaarde is 4.4 ng PEQ/L.

Stoppen met PFAS-scenario

Voor de scenario's waar de PFAS belasting naar het ondiepe grondwater stopt in 2040 als gevolg van een totaalverbod, piekt de PFAS PEQ concentratie al een aantal jaar na 2040 en neemt vervolgens verder af (Figuur 3.3 en Figuur 3.4). In het mediaan scenario wordt de drinkwaterrichtwaarde van 4,4 ng PEQ/L dan nog net aangetikt. Voor het bovengrens scenario is dit ruimer het geval en de PEQ zakt pas na 2200 onder deze grenswaarde. Door de stop in 2040 blijft de PFAS concentratie echter wel net onder de RIVM triggerwaarde van 22 ng/L.



Figuur 3.3. PFAS doorbraak in onttrokken grondwater als PFOA-equivalent concentratie (PEQ) voor het stoppen-met-PFAS mediaan-scenario. De drinkwater-richtwaarde is 4.4 ng PEQ/L.



Figuur 3.4. PFAS doorbraak in onttrokken grondwater als PFOA-equivalent concentratie (PEQ) voor het stoppen-met-PFAS bovengrens-scenario. De drinkwaterrichtwaarde is 4.4 ng PEQ/L.

3.1 Aannames en onzekerheden

De resultaten van de AquaPriori modelberekeningen gepresenteerd in deze quick scan geven een indicatie van de mate en snelheid waarmee de PFAS concentraties zich in relatief kwetsbare grondwaterwinningen kunnen gaan ontwikkelen en welke reductie in onttrokken PFAS concentraties het gevolg kunnen zijn van een totaalverbod op PFAS waardoor idealiter de diffuse belasting aan maaiveld stopt. Door beperkte PFAS metingen in het verleden en door de nog volop in ontwikkeling zijnde kennisopbouw over PFAS transport in de ondergrond, kennen de gepresenteerde berekening wel een groot aantal aannames en onzekerheden, welke resulteert in een het doel van deze quick scan passende sterke versimpeling van de werkelijkheid.

Een belangrijke onzekere factor is dat voor de modelering is uitgegaan van PFAS uitspoeling uit de bodem die in 2010 het bovenste grond bereikt en vervolgens 200 jaar constant is. De aanname dat het grondwater voor 2010 geen PFAS bevat en dat vanaf 2010 de concentraties in het bovenste grondwater niet veranderen zijn beiden niet in overeenstemming met de werkelijkheid. Feit is dat we niet weten wat de PFAS concentraties in het freatische grondwater 10-20-30-40 jaar geleden waren en dat we ook nu niet weten wat deze in de toekomst gaan doen. Zit de bulkvracht van de PFAS deken nog in de onverzadigde zone of is deze al uitgespoeld? De verwachting is wel dat de historische belasting per PFAS zal verschillen als gevolg historie in productie van verschillende PFAS en de stof specifieke mobiliteit. Wat is de mogelijke bijdrage van afbraak van PFAS precursoren in de bodem aan de toekomstige concentraties van de PFAS-20? En welke PFAS zullen in de toekomst worden gevonden worden dan toegevoegd drinkwaterrichtwaarde? De PFAS-20 zijn immers ook maar een selectie. Het enige dat we weten is dat PFAS concentratie die in het model zijn ingevoerd de afgelopen jaren ook daadwerkelijk in freatisch grondwater zijn gemeten. Met deze blik dient ook naar de modelresultaten te worden gekeken in verhouding tot de daadwerkelijk te verwachten PFAS concentraties in onttrokken grondwater. Zolang de PFAS belasting aan maaiveld niet (volledig) stopt is het tenminste van belang om voldoende zicht te krijgen op de aard van deze belasting en de uitspoeling naar grondwater.

Een tweede belangrijk aspect is dat de kennis over de sorptiemechanismes van PFAS aan bodembestanddelen nog sterk in ontwikkeling is waardoor de voor de verschillende PFAS berekende retardatie factoren en de in de modellen resulterende mobiliteit in grondwater nog onzeker is. De onzekerheid over de retardatie in de onverzadigde zone is door de aanwezigheid van bodemlucht nog groter, welke we buiten beschouwing hebben kunnen laten door als input gemeten concentraties in het ondiepe grondwater te gebruiken. Een belangrijk aspect in de onzekerheid van PFAS adsorptie tijdens grondwatertransport is de mate waarin het transport van negatief geladen PFAS beïnvloed wordt door anion adsorptie. Als de retardatie hierdoor significant zou toenemen dan duurt het langer voordat de PFAS in grondwaterwinningen zullen doorbreken, als zal dat wel tot dezelfde piekniveaus leiden. Daarnaast zal het langer duren voordat een afname van PFAS belasting aan maaiveld zal resulteren in voldoende reductie in concentraties. Als de retardatie van PFAS daarentegen kleiner blijkt te zijn, dan zullen de PFAS concentraties van grondwaterwinningen nog sneller toenemen, maar ook sneller afnemen bij het stoppen van de PFAS belasting. In alle gevallen zal het stoppen van de PFAS belasting de piekconcentraties verlagen en de verdwijnen van reeds naar het grondwater uitgespoelde PFAS versnellen, des te eerder des te beter.

4 Conclusies

Als gevolg van atmosferische depositie, gebruik van bestrijdingsmiddelen en de afspoeling van verhard oppervlak is de bodem in Nederland diffuus belast met PFAS. Deze PFAS-deken vormt mogelijk een bedreiging voor grondwaterwinningen, maar dit is nog niet goed in beeld. In deze quick scan is om die reden de ontwikkeling van PFAS in onttrokken grondwater van een fictieve maar realistische kwetsbare grondwaterwinning voor de komende 200 jaar berekend, met een start in 2010. De resultaten van deze quick scan laten zien dat met de huidige gemeten concentraties in bovenste grondwater (mediaanwaarde van de som PFOA equivalentconcentratie = 20 PEQ/L en P90 = 99 PEQ/L) en rekening houdend met het stof specifieke retardatiegedrag van PFAS, het onttrokken grondwater van een kwetsbare grondwaterwinning op een termijn van circa 20 jaar de indicatieve drinkwaterrichtwaarde van 4.4 ng PEQ/L zal overschrijden. In gebieden met een hoge diffuse belasting kan dit jaren eerder het geval zijn. Volgens de berekeningen zal bij een gelijkblijvende PFAS concentraties in het freatische grondwater de PFOA equivalent concentratie (PEQ) in het onttrokken grondwater in 2100 2 tot 10 keer hoger zijn dan deze richtwaarde.

De berekening waarbij na 30 jaar uitspoeling de belasting van het bovenste grondwater in 2040 stopt laat vervolgens zien dat de PFAS concentratie in het onttrokken grondwater rond 2045 zal pieken en vervolgens langzaam zal afnemen. In het mediaan-scenario wordt met een stop van de uitspoeling in 2040 de indicatieve drinkwaterrichtwaarde van 4.4 ng PEQ/L net overschreden. In het bovengrens-scenario is dit veel duidelijk het geval. De triggerwaarde die het RIVM aanhoudt van 22 ng PEQ/L wordt in dit scenario net niet overschreden. Dit toont dat het voorkomen van PFAS belasting door een totaalverbod op PFAS effectief is voor de bescherming van drinkwaterbronnen maar waarschijnlijk te laat komt om een tijdelijke overschrijding van de indicatieve drinkwaterrichtwaarde te voorkomen. Aanvullende zuivering van het onttrokken grondwater is dan nodig. Het is onzeker wanneer deze zuivering precies moet worden ingezet en voor hoe lang dit nodig is, dat verschilt ook per locatie. De quick scan wijst uit dat dit al binnen 10 jaar het geval kan zijn.

De quick scan laat ten slotte zien dat de verschillen in mobiliteit van de verschillende PFAS in de ondergrond leidt tot een vertraagde en gedifferentieerde doorbraak van PFAS in onttrokken grondwater. De kort-ketens PFAS, die veelal gekoppeld wordt aan depositie van fluorhoudende gassen, stromen met vrijwel eenzelfde snelheid als het grondwater richting de onttrekkingsbron, terwijl PFAS met langer CF₂-ketenlengtes veel langzamer getransporteerd worden. PFAS met CF₂-ketenlengtes langer dan 10 zijn zeer beperkt mobiel in de ondergrond en vormen daarom ook op relatief langere termijn waarschijnlijk geen bedreiging voor grondwaterwinningen ten behoeve van de drinkwaterproductie.

De aanname van constante concentraties in het bovenste grondwater is een grove benadering in deze berekening. Gezien de aanvang van de PFAS productie reeds rond 1950, zal in werkelijkheid de PFAS belasting van grondwater deels al eerder zijn begonnen, maar de PFAS samenstelling en concentratieontwikkeling daarvan zijn onbekend. Het valt zeker niet uit te sluiten dat deze in de toekomst toe gaan nemen omdat de piekvrucht van PFAS uit de PFAS-deken waarschijnlijk nog voor een belangrijk deel in de onverzadigde zone aanwezig is. Anderzijds is de productie PFOA en PFOS al een tijd verboden maar het is onbekend wanneer dit effect heeft op de uitspoeling naar het bovenste grondwater. Tenslotte geldt ook dat een deel van de atmosferische depositie z'n oorsprong vindt ook buiten de EU en dus niet beïnvloed wordt door een Europees verbod. Dit alles maakt dat de aangenomen nul-concentratie vanaf 2040 in het 'stoppen-met-PFAS' scenario eveneens onzeker zijn. Het is onbekend hoe lang deze stoffen in uitloging naar het grondwater nog na-ijlen bij een volledig stop van PFAS productie en wat het effect is van afbraak van PFAS precursoren op de concentraties van PFAS-20.

Referenties

- Jeschke, P. (2023) Recent developments in fluorine-containing pesticides. Pest Management Science.
- PAN Europe (2023) Europe's Toxic Harvest: Unmasking PFAS Pesticides Authorised in Europe, Pesticides Action Network Europe.
- RIVM (2023) Drinkwaterrichtwaarde voor trifluorazijnzuur, RIVM-VSP Advies 14434A02.
- Speijer, L., van der Grift, B. and Cirkel, G. (2023) GAIN project: Impact of infiltration of rainwater from potentially contaminated surfaces on groundwater quantity and quality. Phase 1: Literature review and GIS analysis of potential impact on groundwater quantity - Final report. KWR BTO 2023.091.
- Van der Aa, N., Hartmann, J. and Biesebeek, J.D. (2021) Analyse bijdrage drinkwater en voedsel aan blootstelling EFSA-4 PFAS in Nederland en advies drinkwaterrichtwaarde. RIVM-notitie mei 2021.
- Van der Aa, N., Hartmann, J. and Smit, C. (2022) PFAS in Nederlands drinkwater vergeleken met de nieuwe Europese Drinkwaterrichtlijn en relatie met gezondheidskundige grenswaarde van EFSA, RIVM rapport 2022-0149. RIVM rapport 2022-0149.
- Van der Grift, B., Post, V., van Eupen, M. and van der Schans, M. (2024) AquaPriori-Supsurface; user manual. KWR BTO 2024.062, Nieuwegein.
- Vissers, M. (2023) Meetronde freatische grondwaterkwaliteit Provincie Utrecht 2023; kwaliteitscontrole en gegevensanalyse. Sweco, 51016742.
- Wintersen, A., Claessens, J., Wit, M., van Helvoort, K., Wolters, M., Stoffelsen, B., van Wijnen, H. and van Breemen, P. (2021) Landsdekkend beeld van PFAS in Nederlands grondwater. RIVM-briefrapport 2021-0205.