

Opkomende stoffen in grondwater. Tussenversie,
december 2020



INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING.....	3
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS	5
3. BRONNEN EN ROUTES VERONTREINIGING VAN GRONDWATER.....	6
4. GRONDWATERBELEID EN -BEHEER.....	8
5. TOESTAND EN TREND OPKOMENDE STOFFEN EN ANALYSE OMVANG EN RISICO'S ...	9
6. KENNISLEEMTES (in een later stadium van dit project zal dit hoofdstuk verder uitgewerkt worden).....	11
7. HANDELINGSPERSPECTIEVEN (in een later stadium van dit project zal dit hoofdstuk verder uitgewerkt worden).....	12
8. PRAKTIJKERVERVARING EN LOPEND ONDERZOEK.....	15
Afgeronde onderzoeken	15
Lopend onderzoek	20
9. LITERATUUR, BRONNEN EN LINKS.....	23
10. COLOFON.....	27
Auteurs	27
Controle	27
Akkoord	27

1. INLEIDING

Vrijwel alle activiteiten of vormen van landgebruik, hebben in meer of mindere mate effect op de kwaliteit van het grondwater. Bekend zijn de nutriënten en bestrijdingsmiddelen uit de landbouw, maar denk ook aan historische bodemverontreinigingen, een veelheid aan stoffen die af- en uitspoelen vanuit stedelijke gebieden en industriële verontreinigingen. Door antropogene activiteiten wordt daarmee het Nederlandse grondwater tot steeds grotere diepten verontreinigd met deze verschillende stoffen. Ook wanneer stoffen beneden de geldende grondwaterkwaliteitscriteria blijven, kunnen gebruiksfuncties worden aangetast, bijvoorbeeld op termijn elders in het systeem, of als verontreinigingen zich opstapelen ([Kools et al., 2019](#); Van Driezum et al., 2020 (in prep.); [Van Gaalen et al., 2020](#); [Van Loon e.a., 2020](#); [Wuijts e.a. 2014](#)). Dit proces wordt de vergrijzing van grondwater genoemd: de voortschrijdende, sluimerende, beïnvloeding van de chemische kwaliteit van grondwater, ondanks preventief beleid (vooral voor bestrijdingsmiddelen en meststoffen); sanering en/of beheersing (van historische verontreinigingen) en afvoer, vastlegging, afbraak en verdunning (alle stoffen). De verslechtering van de grondwaterkwaliteit is volgens de Adviescommissie Water een urgent probleem, vooral met het oog op de drinkwatervoorziening. Om het grondwater beter te beschermen tegen vergrijzing is meer aandacht en kennis nodig voor de factor 'tijd' bij het grondwaterbeheer. Het bodem- en grondwatersysteem is namelijk traag en verontreinigingen die nu optreden hebben vaak pas vele jaren later effect op de kwaliteit van het grondwater. ([Adviescommissie Water, 2017](#)).

Vergrijzing van het grondwater wordt voor een deel veroorzaakt door zogenaamde "opkomende stoffen". De groep van opkomende stoffen is een klasse van stoffen die in onderzoek en beleid vaak apart aandacht krijgt. In deze groep vallen alle nieuwe en relatief onbekende stoffen die (vaak) nog niet genormeerd zijn, of stoffen waarvan door voortschrijdend inzicht recent is gebleken dat ze grotere milieukundige of gezondheidskundige effecten hebben dan oorspronkelijk gedacht. Voorbeelden van opkomende stoffen zijn stoffen uit persoonlijke verzorgingsproducten, PFAS, (dier-)geneesmiddelen, sommige industriële chemicaliën en consumentenproducten. Ook stoffen die in het milieu terechtkomen als gevolg van illegale activiteiten zoals de productie van drugs, worden hiertoe gerekend. Gewasbeschermingsmiddelen worden soms ook tot de opkomende stoffen gerekend maar worden in deze studie niet behandeld, tenzij ze ook gebruikt worden als humaan of dierlijk geneesmiddel. We beschouwen ook Zeer Zorgwekkende Stoffen bij de opkomende stoffen, dit zijn stoffen die gevaarlijk zijn voor mens of

milieu en zeer zorgwekkend genoemd worden volgens criteria van de Europese REACH verordening. Van veel nieuwe stoffen zijn de eigenschappen nog niet goed bekend, of ze zijn zelfs nog niet geïdentificeerd. Prioritering is belangrijk om te bepalen welke stoffen aandacht behoeven en welke problemen opgelost moeten worden.

Deze Deltafact vat de huidige stand van de kennis samen over opkomende stoffen in relatie tot het Nederlandse grondwater. Daarnaast legt het de kennisleemten bloot over de vergrijzing van het grondwater op lange termijn als gevolg van de huidige, en mogelijk ook toekomstige, toepassingen van opkomende stoffen. Ten slotte komen een aantal handelingsperspectieven aan bod. Deze informatie biedt houvast bij besluiten in het waterkwaliteitsbeheer, zoals voor welke opkomende stoffen en op welke wijze maatregelen kunnen worden genomen om de emissies van deze opkomende stoffen naar het grondwater te voorkomen of te beperken. Voor opkomende stoffen zal preventie van emissies een zeer belangrijke maatregel zijn om het grondwater te beschermen.

2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS

Onderwerpen:

- Antropogene stoffen in het milieu
- Opkomende stoffen in oppervlaktewater
- Strategische grondwatervoorraden
- Drinkwaterbronnen in de toekomst

Deltafacts:

Vanuit het kennisimpulsproject grondwaterkwaliteit zijn ook de volgende Deltafacts opgesteld:

- Vergrijzing van het grondwater
(De deltafact over vergrijzing is meer procesgericht, en de deltafact over opkomende stoffen is meer stofgericht over deze groep stoffen)
- Mogelijke lange-termijn effecten van grootschalige geothermie op grondwaterkwaliteit
- Effecten van open en gesloten bodemenergiesystemen op de grondwaterkwaliteit
- Effecten van kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater op de grondwaterkwaliteit

Vanuit andere kennisimpulsprojecten worden Deltafacts geschreven over gerelateerde onderwerpen, zoals in:

- Toxiciteit
- Gewasbeschermingsmiddelen
(<https://www.kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl/publicaties/deltafact-een-inventarisatie-van-emissieroutes-van-gewasbeschermingsmiddelen-naar>)
- Diergeneesmiddelen
- Ketenverkenner
- Gedragwetenschappen

3. BRONNEN EN ROUTES VERONTREINIGING VAN GRONDWATER

In een later stadium van dit project zal dit hoofdstuk verder uitgewerkt worden.

Onderstaande schematische weergave is gemaakt in het kader van het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (bron www.rivm.nl) en brengt verschillende bronnen en routes van verontreiniging van grondwater in beeld.

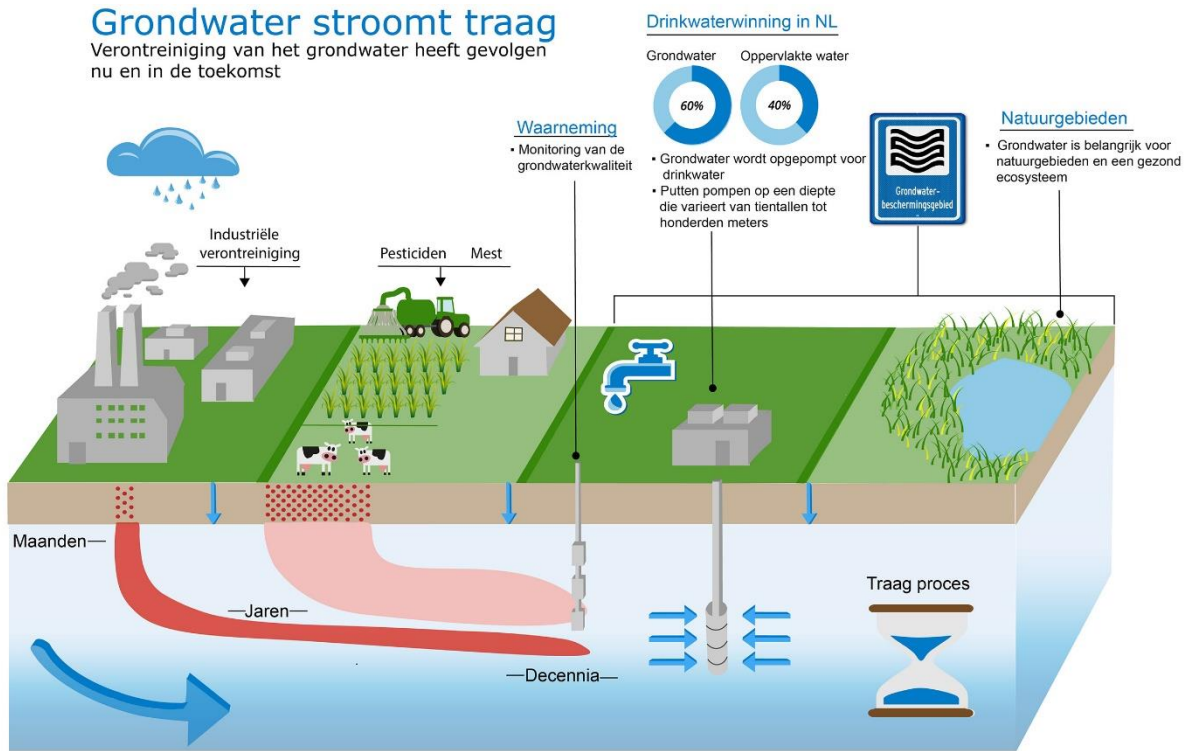
Vergrijzing van grondwater wordt veroorzaakt onder de grond door bijvoorbeeld lekkage vanuit riolen en stortplaatsen of vanaf de oppervlakte, zoals uitspoeling van meststoffen en bestrijdingsmiddelen naar het grondwater. Dit betreft zowel bekende stoffen (bijvoorbeeld nitraat uit mest, bestrijdingsmiddelen of VOCl's uit historische verontreinigingen), en ook opkomende stoffen verontreinigen het grondwater.

De twee voornaamste routes van opkomende stoffen in grondwater zijn infiltratie van oppervlaktewater inclusief bronnen daarop (RWZI's en industriële afvalwaterzuivering) en uitspoeling vanaf de toplaag van de bodem met het neerslagoverschot, waarbij het landgebruik (landbouw, stedelijk, industrieel) een bepalende factor is ([Ter Laak et al., 2012](#)). In landbouwgebieden is uitspoeling van diergeneesmiddelen uit mest naar het grondwater bijvoorbeeld een route ([Kivits et al., 2018](#)), terwijl het voorkomen van humaan gebruikte farmaceutica veelal samenhangt met de infiltratie van oppervlaktewater dat is belast door rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) ([Van Driezum et al. 2019](#), [Hamann et al. 2016](#)). Als potentiële bron moet er daarnaast steeds meer rekening gehouden worden met stoffen die als gevolg van hergebruik van grondstoffen in het milieu terecht kunnen komen ([Gezondheidsraad, 2018](#)). Een voorbeeld hiervan is het in hoge concentraties voorkomen van verboden gebromeerde vlamvertragers in voor recycling bedoelde plastics. Deze vlamvertragers zijn ook daadwerkelijk aangetroffen in gerecycled plastic, onder andere in plastic speelgoed voor kinderen ([Leslie et al., 2016](#)).

Andere potentiële bronnen zijn bijvoorbeeld wegverkeer, wegmeubilair en afstromend wegwater (bijvoorbeeld benzine-additief MTBE); lekkende riolen (bijvoorbeeld geneesmiddelen, hormonen en weekmakers als bisfenol A); atmosferische depositie; calamiteiten; dumpingen/afval (bijvoorbeeld drugsafval); stortplaatsen; oefenlocaties brandweer/defensie (bijvoorbeeld blusschuim); historische bodemverontreinigingen; grond en baggerverzet als secundaire bron, met name als grond onder grondwaterniveau wordt toegepast; allerhande bouwmaterialen die in omloop zijn en buiten gebouwen worden toegepast.

Grondwater stroomt traag

Verontreiniging van het grondwater heeft gevolgen nu en in de toekomst



Bron: <https://www.rivm.nl/landelijk-meetnet-grondwaterkwaliteit>.

4. GRONDWATERBELEID EN -BEHEER

Om invulling te geven aan het onderdeel opkomende stoffen in de Delta-aanpak Waterkwaliteit is het *Uitvoeringsplan opkomende stoffen in water* opgesteld. Het programma is gericht op de industrie en huishoudens als potentiële bronnen van opkomende stoffen. Het bijbehorende *Uitvoeringsprogramma opkomende stoffen* ([IenW, 2018](#)) vormt de basis voor concrete acties die met en door betrokkenen uitgevoerd gaan worden. Het vergroten van kennis over de aanwezigheid en mogelijke risico's van opkomende stoffen is een onderdeel van het uitvoeringsprogramma. Daarvoor is de werkgroep *Aanpak Opkomende Stoffen* in 2015 opgericht, waarin waterbeheerders, drinkwaterbedrijven en andere organisaties uit de watersector samenwerken aan het ontwikkelen van een strategische aanpak om meer inzicht te krijgen in opkomende stoffen. Deze werkgroep houdt zich bezig met opkomende stoffen in oppervlaktewater, drinkwater en grondwater.

De structurele aanpak van opkomende stoffen in water is een specifieke prioriteit binnen de Delta-aanpak Waterkwaliteit. Aanpak bij de bron blijft hierbij het belangrijkste uitgangspunt. Op Europees niveau zijn het toelatingsbeleid (waaronder REACH en de Industrial Emissions Directive (IED)) en het stellen van eisen aan industriële lozingen belangrijke instrumenten. Deze instrumenten zijn echter op dit moment niet toereikend om het probleem van opkomende stoffen op te lossen, daarom zijn nationale wetgeving en vergunningverlening op nationaal niveau de belangrijkste instrumenten. Binnen de structurele aanpak zijn de Algemene BeoordelingsMethodiek (ABM) en het Handboek Immissietoets instrumenten die verplicht moeten worden gebruikt voor de beoordeling van (punt)lozingen. In het Handboek Immissietoets is een specifieke toets opgenomen van de risico's voor bronnen voor drinkwater.

Opkomende stoffen in het grondwater kunnen gevolgen hebben voor gebruiksfuncties, zoals natuur, drinkwater en oppervlaktewater. Deze gevolgen kunnen verschillen per stofgroep en stof, van plaats tot plaats, en ze kunnen op verschillende tijdshorizonten spelen. Monitoring van opkomende stoffen in grondwater gebeurt in diverse meetnetten en projecten, bijvoorbeeld door provincies en drinkwaterbedrijven, en met diverse methoden en doelen.

5. TOESTAND EN TREND OPKOMENDE STOFFEN EN ANALYSE OMVANG EN RISICO'S

Dit document is een concept, een tussenversie van de deltafact. In het vervolg van het project zullen datasets op gebied van opkomende stoffen in grondwater van provincies en drinkwaterbedrijven worden geanalyseerd om de toestand, trends en risico's verder in beeld te brengen. De beelden uit huidige studies (Praktijkervaring en lopend onderzoek, hoofdstuk 8) en de datasets van provincies en drinkwaterbedrijven worden verder samengevat in een volgende versie van deze deltafact.

[Sjerps et al. \(2017\)](#) geeft het volgende beeld van de omvang van de problematiek: in een kwart van de 500 grondwatermonsters zijn farmaceutica aangetroffen. De top 10 van de meeste aangetroffen farmaceutica, bestaat uit de volgende typen: een hormoon (17 β -estradiol), drie pijnstillers, een anti-epilepticum, een antibioticum, twee röntgencontrastmiddelen, een ontstekingsremmer en een verdovend middel. Naast farmaceutica is ook onderzoek gedaan naar andere opkomende stoffen. Deze top 10 van meest aangetroffen nieuwe stoffen bestaat uit weekmakers, oplosmiddelen, andere hulpstoffen en een polycyclische aromatische koolwaterstof (PAK) ([Sjerps et al. 2017](#)).

Het is praktisch en technisch onmogelijk om al deze stoffen in het grondwater te identificeren. Daarnaast worden veel van deze stoffen alleen opgemerkt als ze in een analysepakket van een bepaald onderzoek zijn opgenomen, iets dat voor opkomende stoffen meestal niet het geval is. De onbekende stoffen komen dan alleen naar voren bij de inzet van zogenaamde brede screening technieken (non-target-analysis).

De verspreiding van stoffen in het grondwater is een traag proces. Als de stoffen eenmaal in het grondwater aangetroffen worden, is de verspreiding vanuit de bron niet meer eenvoudig te reduceren, en sanering is moeilijk.

Verspreidingseigenschappen zijn vaak niet bekend, terwijl juist deze informatie nodig is om te voorspellen welke stoffen in de toekomst een probleem voor het grondwater zouden kunnen vormen om tijdig te handelen. De mix van (vaak onbekende) stoffen zorgt er ook voor dat er mengseltoxiciteit kan optreden, de mate van mengseltoxiciteit is vanwege de interactie tussen stoffen erg lastig in te schatten. Kortom, de onbekendheid van de grote mix van stoffen en de onzekerheid

van de verspreiding maakt het inschatten van effecten en beheer van de grondwaterkwaliteit uitermate ingewikkeld.

De route van het grondwater naar bijvoorbeeld een drinkwaterwinning of naar het oppervlaktewater is ook van belang voor het inschatten van effecten van opkomende stoffen. Belangrijke aspecten zijn de stofeigenschappen, de geohydrologie en de reactiviteit en microbiologie van de ondergrond. Met deze gegevens kunnen reistijden, verspreidingsrisico's en omzettingsprocessen ingeschat worden.

Het is belangrijk om de aanwezigheid van een stof in het grondwater te kunnen verklaren. Met een bron-pad-effect-analyse kunnen we grip krijgen op herkomst, het verspreidingsgedrag, en risico's van de stof. Deze analyse combineert kennis over het gebruik en de herkomst van de stof met aspecten die de route van de stof in het grondwater bepalen. Naast informatie voor het inschatten van de effecten, levert de bron-pad-effect analyse belangrijke input om te bepalen in hoeverre invloed kan worden uitgeoefend op de aanwezigheid van de stof in het grondwater. Hierbij moeten ook de mengseffecten meegenomen worden (zie ook concept Deltafact vanuit project KIWK Toxiciteit).

6. KENNISLEEMTES (in een later stadium van dit project zal dit hoofdstuk verder uitgewerkt worden)

In een later stadium van dit project zal dit hoofdstuk verder uitgewerkt worden, en zullen de kennisleemtes die bij het maken van het overzicht van effecten en risico's van opkomende stoffen werden geconstateerd, worden beschreven.

Het gaat daarbij om kennisleemtes op het gebied van:

- Het vóórkomen, de verspreiding en de afbraak van opkomende stoffen in grondwater nu en in de toekomst.
- De risico's die verbonden zijn aan het vóórkomen van stoffen en mengsels van stoffen in grondwater.
- Kennis, informatie en een kader om te kunnen prioriteren en om te kiezen in het dilemma tussen gebruik van stoffen door de mens en de consequenties voor het afvangen of zuiveren bij gebruik van water.
- In beeld krijgen van relevante bronnen van opkomende stoffen voor grondwater.
- Wat zijn de verbanden tussen de grondwaterconcentraties en industriële en andere activiteiten (en daarbij het relateren van oppervlaktewaterkwaliteit aan effluenten van RWZI's en aan industriële bronnen, en het relateren van de grondwaterkwaliteit aan de oppervlaktewaterkwaliteit).
- De rol van overstorten voor opkomende stoffen in het grondwater, ook van oude overstorten die inmiddels niet meer bestaan.
- De rol van (historische) bodemverontreinigingen voor opkomende stoffen in grondwater.
- Hoe kunnen we opkomende stoffen in het oppervlaktewater gebruiken als *early warning* voor het grondwater.
- In beeld krijgen van nieuwe routes en nieuwe stoffen en het bepalen van meetstrategieën voor verschillende compartimenten en routes (gerichte metingen of screening).
- Bruikbare monitorings- en screeningsmethoden
- Bruikbare monitoringsstrategieën, met optimale stratificatie van meetnetten.
- Uitwerken/ontwikkelen van een methode voor monitoring van opkomende stoffen. Veel opkomende stoffen worden niet in reguliere pakketten gevonden (targetstoffen).
- Identificeren van mogelijke probleemstoffen aan het begin van de keten voor het nemen van preventieve maatregelen en het samenstellen van meetpakketten voor oppervlaktewater en voor grondwater.

7. HANDELINGSPERSPECTIEVEN (in een later stadium van dit project zal dit hoofdstuk verder uitgewerkt worden)

In een later stadium van dit project zal dit hoofdstuk verder uitgewerkt worden, en zullen mogelijke handelingsperspectieven worden beschreven om vergrijzing van het Nederlandse grondwater door opkomende stoffen te mitigeren.

Het gaat daarbij om handelingsperspectieven op het gebied van:

- Voor de opkomende stoffen zal preventie, het beperken en het voorkómen van emissies van stoffen naar het oppervlaktewater en het grondwater heel belangrijk zijn;
- Bij toelating van nieuwe stoffen meer rekening houden met afbraak/verwijderbaarheid en potentiële effecten van de stoffen in grondwater;
- Vergunningsverlening waterschappen en Rijkswaterstaat: wat er niet inkomt kan ook geen probleem worden, echter nu is vaak onbekend welke stoffen precies worden geloosd (zoals bij recente studie van RWS over PFAS bronnen is gebleken). Meer meten aan/weten van bekende lozingen van industrie en RWZI 's geeft inzicht;
- Risico-gebaseerd beheer van verontreinigingen: er wordt gemodelleerd en gemonitord om de verspreiding van een verontreiniging in de gaten te houden, wanneer er risico geconstateerd wordt dat een verontreiniging een kwetsbare receptor zal bereiken, kan gericht gesaneerd worden;
- Meetdata en kennis delen met belanghebbenden en uitwisselen van ervaringen met andere beleidsvelden (gezondheid, landbouw, industrie, etc.) in een integraal stoffenoverleg, op elkaar afgestemd taalgebruik en begrip van de problematiek;
- Monitoring actueel houden (handvatten bieden voor een monitoringsstrategie), en inbouwen in een signaleringssysteem waarbij data wordt omgezet in informatie. Waar mogelijk nieuwe meetmethodieken inzetten. Early warning grondwater en ruwwater;
- Monitoring vanuit het uitgangspunt dat we vooral naar de toekomst willen kijken en willen nagaan hoe we nu kunnen voorkómen dat we nu nog dingen doen waar we later spijt van krijgen, door lessen uit het verleden te leren. Freatische monitoring hoort daarbij omdat je op 10 meter diep de situatie van 10 jaar geleden bekijkt. Monitoring bestaat al sinds 1980 en pas sinds 2004 worden opkomende stoffen gemeten (op 10 en 25 meter diep). Dit waren eerst bestrijdingsmiddelen, waar eerst volledig op het toelatingsbeleid werd gevaren (zonder metingen in het veld) bleken nu meerdere middelen

problematisch. Gebruiksvoorschriften zijn sindsdien flink aangescherpt. Conclusie: monitoring is noodzaak om stoffenbeleid in de praktijk te toetsen en bij te sturen. Sinds 2010 worden ook 'exoten' en 'medicijnen' gemeten in grondwater op 10 en 25 meter diepte en sinds 2015 is deze monitoring landelijk coherent uitgevoerd door provincies. Dit levert nieuwe inzichten op over het vóórkomen van opkomende stoffen in grondwater.

- Nieuwe kennis en inzichten in beleid laten landen: beleidsproces dat gaat lopen als een stof wordt gevonden, bijvoorbeeld door normen af te leiden voor de gevonden stof. Dan is het vooral belangrijk om de juiste stoffen te gaan monitoren en screenen en met de juiste detectielimiet en op de juiste plek (freatisch grondwater, oppervlaktewateren, en uiteindelijk nabij bronnen).
- Mogelijkheden van de toepassing van effect-monitoring op basis van toxiciteit in grondwaterbronnen;
- Strategie ontwikkelen om stoffen al aan het begin van de keten te identificeren als mogelijke bedreiging voor het grondwater, zodat preventieve maatregelen kunnen worden genomen;
- Early warning monitoring in oppervlaktewater voor bedreigingen van grondwaterkwaliteit;
- Inzichten vanuit oppervlaktewatermonitoring meenemen in grondwatermonitoring. Uit screening van rivierwater, grondwater en grote wateren duidelijk krijgen welke stoffen een probleem zijn, waarvoor vervolgens gezocht moet worden naar bronnen. Deze keten komt door het grote aantal actoren moeilijk op gang. Samenwerking tussen de actoren in de monitoringscyclus is essentieel;
- Beperken van verspreiding door beter om te gaan met de beschermingsmechanismen in de ondergrond (geohydrologisch, geochemisch, bodembologisch);
- Duurzame zuiveringsstappen in het bodem- en watersysteem inbrengen;
- Bescherming van humane en ecologische receptoren (ontvangers, denk aan de mens, flora en fauna);
- Het toekennen van waarde aan grondwater: bepalen wanneer verontreiniging of doorboring wel zijn toe te staan als dit duurzaamheidsdoelen dient (bijvoorbeeld voor energieopslag), afgewogen tegen beoordeling van het risico van verontreiniging van het grondwater vanuit normering en mengseltoxiciteit;

- Stappenplannen opstellen voor autoriteiten voor als er een probleemstof opduikt in het beheersgebied;
- Effectieve kennisinfrastructuur over opkomende stoffen.

8. PRAKTIJKERVARING EN LOPEND ONDERZOEK

In deze paragraaf worden de resultaten van afgeronde en lopende studies weergegeven.

Afgeronde onderzoeken

Grondwaterkwaliteit Nederland 2020

In 2015/2016 en 2018-2019 hebben de provincies de kwaliteit van het grondwater in heel Nederland in beeld gebracht ([Sjerps et al., 2017](#); [Van Loon et al., 2020](#)). Daarbij is op ruim 600 locaties ondiep grondwater bemonsterd en geanalyseerd op 103 medicijnresten en 124 overige verontreinigende stoffen ([Van Loon et al., 2020](#)). Medicijnresten zijn op 35% van de meetlocaties aangetroffen, waarvan in 7% van de gevallen boven de signaleringwaarde die voor drinkwaterbronnen geldt. De meest voorkomende medicijnresten in grondwater zijn fenazon en carbamazepine, deze stoffen komen voor in meer dan 5% van de monsters. 17 β -estradiol wordt vaker in grondwater aangetroffen dan de bovengenoemde medicijnresten, maar omdat het een natuurlijk hormoon is valt het strikt genomen niet onder de medicijnresten. Overige verontreinigende stoffen zijn aangetroffen op 71% van de meetlocaties. Met name EDTA wordt vaak aangetroffen. Daarnaast zijn bisfenol A, PFOA en PFOS vaak aangetroffen, in meer dan 10% van de monsters. De meetgegevens kunnen opgevraagd worden via het Informatiehuis Water.

Brede Screening Maas

In het Maasstroomgebied wordt sinds eind jaren '90 de Brede Screening uitgevoerd in grond- en oppervlaktewater. Eerst alleen in Brabant, maar inmiddels met deelname van alle waterschappen, provincies, drinkwaterbedrijven en Rijkswaterstaat in het hele Maasstroomgebied. In de eerste jaren werden enkel gewasbeschermingsmiddelen gemeten, maar in 2012, 2016 en 2019 ook opkomende stoffen, zoals medicijnresten, weekmakers en enkele PFAS-verbindingen. Voor grondwater zijn de metingen uitgevoerd op een selectie van locaties uit het Provinciaal Meetnet Grondwater (PMG) van de Provincies Noord-Brabant en Limburg en in waarnemingsfilters rond de drinkwaterwinningen van de drinkwaterbedrijven. De meetronde 2019 was een beperkte ronde, maar in 2012 en 2016 zijn opkomende stoffen op zo'n 87 locaties gemeten en bestrijdingsmiddelen op 238 locaties. In de meetronde van 2016 werden 42 van de 250 gemeten stoffen aangetroffen boven de rapportagegrens, de overige 208 zijn dus niet aangetoond in grondwater ([Verhagen, F. T., Holsteijn, A., Schipper, M. \(2018\)](#)). De top 10 van

meest aangetroffen stoffen bestaat uit onder andere PFAS-verbindingen PFBA, PFOA en PFHpA en de farmaceutica paracetamol en carbamazepine. Enkele stoffen die regelmatig zijn aangetroffen zijn EDTA (complexvormer), 1,2,3-benzotriazool (anti-corrosie, antivriesmiddel, onderdeel van geneesmiddelen), bisfenol-A (verwerkt in plastics) en diglyme (oplosmiddel) ([Verhagen, F. T., Schipper, M., Avis, L. \(2020\)](#)). De meetresultaten van de jaren 2012 en 2016 zijn door Royal HaskoningDHV inzichtelijk gemaakt op de volgende webpagina: https://royalhaskoningdhv.shinyapps.io/Brede_Screening_Maas/.

Staat drinkwaterbronnen

Om in het kader van de KRW de waterkwaliteit van bronnen voor drinkwater te beoordelen, worden per winning gebiedsdossiers opgesteld. In deze gebiedsdossiers wordt alle feitelijke informatie verzameld, waarmee de problemen en risico's voor de winning zo volledig mogelijk in beeld komen. Onderdeel van de gebiedsdossiers is het maken van een analyse van de huidige toestand van de winning en mogelijke bedreigingen in de toekomst. De eerste en tweede generatie Gebiedsdossiers zijn gebundeld en de staat van de drinkwaterbronnen is geanalyseerd door RIVM ([Versteegh en Dik, 2014](#), [Wuijts et al. 2014](#), van Driezum et al. (in prep)). Hierin wordt naast bijvoorbeeld ruimtelijke ontwikkelingen en beschikbare wincapaciteit ook gekeken naar opkomende stoffen.

Van 2014 tot 2018 zijn bij circa 200 pompstations metingen in grond- en oppervlaktewater gedaan om de waterkwaliteit van drinkwaterbronnen in kaart te brengen. Er zijn metingen gedaan aan een grote verscheidenheid aan stoffen door de drinkwaterbedrijven, waaronder opkomende stoffen. Stoffen die voorkomen in concentraties op of boven de norm worden in de gebiedsdossiers gerapporteerd en worden aangeduid als huidige probleemstoffen, stoffen die op 75% van de norm liggen als potentiële probleemstoffen. De meeste metingen werden verricht in de pompstations, in sommige gebiedsdossiers is ook informatie gegeven over concentraties in waarnemingsfilters in het grondwaterbeschermingsgebied. Uit de analyse van de staat van de drinkwaterbronnen is gebleken dat in 59 grondwaterwinningen opkomende stoffen aangetroffen worden in concentraties van 75% of meer van de norm. De meest aangetroffen stoffen zijn oplosmiddelen, voedingsstoffen (zoals zoetstoffen) en medicijnresten.

Trendanalyse grondwaterkwaliteit van drinkwaterwinningen (2000 - 2018)

Voor de Europese kaderrichtlijn Water (KRW) heeft het RIVM de kwaliteit van het grondwater van drinkwaterwinningen in Nederland geïnventariseerd ([Wit et al., 2020](#)). Per winning is onderzocht of de gemiddelde grondwaterkwaliteit aan de normen voldoet, welke stoffen er worden aangetroffen en welke ontwikkelingen er door de jaren heen te zien zijn. Dit is gedaan tussen 2000 en 2018. Deze informatie wordt gebruikt om elke zes jaar de concentraties van stoffen in de desbetreffende grondwaterlichamen te duiden.

In de onderzochte periode blijkt bij 92 van de 156 winningen het ongezuiverde grondwater (ruwwater) enige mate van verontreiniging bevat. De belangrijkste probleemstoffen zijn gewasbeschermingsmiddelen, oplosmiddelen en andere industriële stoffen.

Ten opzichte van de vorige inventarisatie (2000-2012) waren de ontwikkelingen zowel positief als negatief: sommige concentraties nemen af, andere nemen toe. Op 21 locaties is de concentratie van 13 verschillende stoffen gestegen. Het gaat in totaal om 36 combinaties van stoffen en locaties ('stijgende trends'). Op 23 locaties is de concentratie van 16 verschillende stoffen afgenomen. Het gaat in totaal om 41 combinaties van stoffen en locaties ('dalende trends'). Bij een aantal winningen zijn de concentraties van stoffen voor het eerst gestegen. Veel van de stoffen met normoverschrijdende concentraties zijn ook in andere studies gezien.

Voor de beoordeling van de grondwaterwinningen voor de drinkwatervoorziening zijn de data van REWAB (Registratie Waterkwaliteit Bedrijven) onder andere vergeleken met normen uit het Drinkwaterbesluit. In de REWAB-database rapporteren drinkwaterbedrijven over de drinkwaterkwaliteit in Nederland.

Veterinaire antibiotica in grondwater

In 2017 heeft TNO onderzoek gedaan naar het vóórkomen van veterinaire antibiotica in gebieden met intensieve veehouderij ([Kivits et al., 2018](#)). In totaal zijn 22 antibiotica, uit verschillende antibiotica groepen, gemeten. Zes typen antibiotica werden aangetroffen in een concentratiebereik van 0,30 tot 18 ng/l.

Sulfamethoxazol en sulfamethazine werden het vaakst aangetroffen. Antibiotica waren aanwezig in een meerderheid van de bemonsterde filters (31 van de 46 monsters). De antibiotica zijn aangetroffen op alle bemonsterde diepten tot 23 meter en in grondwater tot 40 jaar oud. Deze studie toont aan dat er in Nederland in het grondwater antibiotica aanwezig zijn als gevolg van de verspreiding van dierlijke

mest. Op basis van de selectiecriteria van de putten is het onwaarschijnlijk dat de antibiotica een andere bron hebben dan verspreiding via mest.

Diergeneesmiddelen en hormonen in grondwater

In de provincie Gelderland is een verkennende studie uitgevoerd naar antibiotica, antiparasitaire middelen, coccidiostatica en natuurlijke hormonen in mest, waterbodem, grondwater en oppervlaktewater door de WUR en Ad eco advies ([Lahr et al., 2018](#)), vanuit de vraag 'Kunnen diergeneesmiddelen op locaties met drijfmestbelasting aangetoond worden in bodem, grondwater, oppervlaktewater en/of sediment en geven de resultaten aanleiding tot verdere agendering van de emissie van diergeneesmiddelen naar het milieu? Het onderzoek richtte zich met name op de bedrijven en hun percelen op zandgrond, omdat zandgrond kwetsbaar is voor uitspoeling van stoffen naar het grondwater. Er waren maar weinig stoffen uit de mest die systematisch werden aangetroffen in het grondwater. Wel werd een aantal stoffen hierin met enige regelmaat gedetecteerd: sulfadiazine, sulfadimidine (synoniem: sulfamethazine), toltrazuril(-sulfon) en incidenteel oxytetracycline, het antibioticum tiamulin, het antiparasiticum emamectine en het vrouwelijke hormoon oestron. Er is aangetoond dat persistente, maar oplosbare diergeneesmiddelen en hormonen worden aangetroffen in het grondwater van percelen waar drijfmest wordt verspreid. Over de mate en snelheid van uitspoeling van de hier genoemde stoffen kan door de weinige waarnemingen niets worden geconcludeerd. Er is niet aannemelijk gemaakt dat er binnen het tijdsbestek van het onderzoek, vier maanden, grootschalige uitspoeling naar het grondwater plaatsvindt vanuit zandbodems na toediening van drijfmest uit kalver- en varkenshouderij.

Non-target screening in grondwater

In 2012 zijn zogenaamde non-target screeningstechnieken toegepast op grondwater en oevergrondwater ([Ter Laak e.a., 2012](#)). Monsters werden verzameld uit waarnemingsputten en pompputten in drinkwaterwingebieden en bekende verontreinigde locaties. Met deze studies werd een breed scala aan stoffen waargenomen, waarvan een klein deel kon worden geïdentificeerd. Het betrof geneesmiddelen en persoonlijke verzorgingsproducten, industriële stoffen en gewasbeschermingsmiddelen. Statistische analyse liet zien dat oeverfiltraat meer antropogene verontreinigingen bevatte dan grondwater onder kleilagen. Daarnaast correleerden de aanwezigheid van stofgroepen als gewasbeschermingsmiddelen met landelijk gebied, terwijl industriële stoffen, geneesmiddelen en persoonlijke

verzorgingsproducten in alle landgebruik typen voorkwamen. De toepassing van non target-methoden in grondwater biedt de mogelijkheid om onbevooroordeeld naar een breed scala aan grotendeels onbekende stoffen te zoeken.

In 2020 voert KWR een soortgelijk onderzoek uit, namelijk brede screening voor de detectie van onbekend antropogene stoffen in het grond- en drinkwater rond Brabantse winningen.

PS-DRINK

In 2019 en 2020 is er binnen het RIVM project PS DRINK een methode ontwikkeld om, met behulp van tekst mining, wetenschappelijk artikelen te identificeren die de eerste detectie van stoffen en micro-organismen in drinkwater(bronnen) melden ([Hartmann et al., 2019](#) & [Hartmann et al. 2020](#)). Tekst mining helpt een grote hoeveelheid literatuur te kunnen scannen op relevante signalen in bronnen voor drinkwater. Van alle artikelen die naar boven zijn gekomen bij een zoekopdracht worden zowel de titel als het abstract ingeladen in excel, waarna deze worden gescand op voorafgaand bepaalde woorden met behulp van R Studio. Binnen PS DRINK is gezocht naar signalen van een eerste detectie van een stof in water. Dit heeft als doel om mogelijk schadelijke stoffen voor de drinkwatervoorziening vroegtijdig te signaleren. De methode is toegepast op publicaties tussen 2016 en augustus 2018, resulterend in een lijst van 359 artikelen met mogelijke milieu- en gezondheidsrisico's. De aanwezigheid van 6 voor Nederland relevante voorbeelden uit de lijst (3 stoffen en 3 micro-organismen) is onderzocht in 2 monsternamecampagnes; van mogelijke bron via oppervlaktewater tot drinkwater. Vier van de 6 signalen zijn aangetroffen, waarmee de bruikbaarheid van de methode als onderdeel van een early warning system is aangetoond. De methode met behulp van tekst mining zou ook goed toe te passen zijn bij de signalering van opkomende stoffen in grondwater.

Passive sampling

Met behulp van passive sampling zijn meerdere metingen uitgevoerd in grondwater. Passive sampling is een monitoringstechniek waarbij samplers met sorptiemateriaal enige weken tot maanden in het water hangen. Gedurende die periode sorberen ze een deel van de stoffen aanwezig in het grondwater, mits het sorptiemateriaal voldoende affiniteit heeft voor de stof in kwestie. Deze tijds-geïntegreerde bemonstering maakt het mogelijk om lage concentraties te detecteren en eventuele kortdurende piekconcentraties op te pikken (het laatste is in grondwater minder

relevant dan in oppervlaktewater). Met behulp van passieve sampling kunnen verschillende opkomende stoffen in grondwater waargenomen worden, waaronder PFAS verbindingen, medicijnresten en antibiotica. Een voorbeeld van een studie met passieve sampling is het in 2015 in Noord-Brabant uitgevoerde onderzoek, waarbij op twee locaties op ca 4 m-mv en 23 m-mv samplers zijn uitgehangen. In deze studie zijn verschillende stoffen aangetroffen, waaronder de antibiotica sulfadiazine en sulfamethazine en farmaceutische stof salicylzuur ([Smedes en de Weert 2016](#)). Sulfamethazine en salicylzuur zijn aangetroffen op beide dieptes, sulfadiazine is aangetroffen in de ondiepe filters.

Lopend onderzoek

REWAB

De drinkwaterbedrijven rapporteren jaarlijks de uitkomsten van hun wettelijk verplichte meetprogramma's. Hieruit worden door de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) jaarrapportage gemaakt waarin het aantal overschrijdingen per drinkwaterbedrijf worden gerapporteerd. De REWAB database biedt informatie over het aantal uitgevoerde analyses per stof, de minimale en maximale concentratie en de gemiddelde concentratie. Deze informatie wordt gegeven voor alle wettelijke meetpunten voor ruw water, rein water en distributie. Metingen in individuele winputten en waarnemingsfilters binnen het grondwaterbeschermingsgebied worden niet in REWAB opgenomen.

HOVER

In het Europese GeoERA-project Hover wordt onderzoek gedaan naar opkomende stoffen in het grondwater in Europa. In dit project is onder andere een review van 39 internationaal uitgevoerde studies naar opkomende stoffen in het grondwater gedaan. De top 2 van gedetecteerde opkomende stoffen zijn carbamazepine en cafeïne. Carbamazepine werd gedetecteerd in 22 studies, in concentraties tot 2325 ng/L, en cafeïne in 15 studies bij concentraties tot 14,77 µg/L. De meest gerapporteerde categorie was 'Farmaceutische producten', een veel bestudeerde groep met 135 verbindingen, waarbij 31 van de 39 studies (79%) een of meerdere parameters binnen deze categorie rapporteerden ([Bunting et al., 2021](#)). Het project loopt nog tot en met 2021.

POP-UP

In opdracht van het Uitvoeringsprogramma Bodem en Ondergrond draagt het consortium van Arcadis, Bioclear Earth, TTE Consultants en Witteveen+Bos zorg voor het wegnemen van onzekerheden over nieuw aangetroffen stoffen. De kennisinstellingen zijn partners in het project. Het aantreffen van de voorheen onbekende, mogelijk bedreigende stoffen in het milieu leidt tot onzekerheid bij overheden, bedrijven en burgers. Zijn er risico's voor de gezondheid of voor de natuur, wat doet het met ons algehele milieukwaliteit? Waarvoor ben ik aansprakelijk, wat mag en/of moet ik zelf doen? Dat zijn allemaal vragen waar in het project antwoord op gegeven wordt. Het doel van het project is te komen tot een systematische aanpak en tot de beheersing van onverwachte of kritieke situaties met nieuwe of opkomende stoffen in het bodemsysteem. Zo weet ieder die wordt geconfronteerd met een nieuwe stof welke stappen hij kan zetten, ook als er geen risicodata van deze stof beschikbaar zijn. Het gaat daarbij niet alleen om nieuwe stoffen met nog onbekende risico's, maar ook om gewijzigde inzichten rond al langer bekende stoffen (zoals lood in de bodem of het ontstaan van antibioticaresistentie). Vervolgens wordt vastgesteld hoe zo effectief mogelijk gereageerd en gecommuniceerd kan worden als er sprake blijkt te zijn van een mogelijk probleem. Het project zal leiden tot praktische handelingskaders en voorstellen voor een effectieve kennisinfrastructuur.

SOILveR PREMISS

In het project SOILveR wordt door een consortium van verschillende partijen uit Frankrijk, Wallonië, Vlaanderen en Nederland (RIVM en Deltares), samengewerkt aan het opstellen van een methodiek voor de prioritering van opkomende stoffen in bodem en grondwater. Dit project is in november 2020 van start gegaan.

NORMAN

Het NORMAN-netwerk verbetert de uitwisseling van informatie over opkomende stoffen in het milieu en moedigt de validatie en harmonisatie van gemeenschappelijke meetmethoden en monitoringinstrumenten aan, zodat beter kan worden voldaan aan de eisen van risicobeoordelaars en risicomangers. Het is specifiek bedoeld om zowel de synergiën tussen onderzoeksteams uit verschillende landen op het gebied van opkomende stoffen te bevorderen als ervan te profiteren. We kunnen kennis en systematiek vanuit dit netwerk toepassen op de problematiek in Nederland.

Het netwerk richt zich op de volgende doelgroepen;

- Alle geïnteresseerde belanghebbenden die te maken hebben met opkomende stoffen - of ze nu hun voorkomen en effecten bestuderen of risicobeoordeling en risicobeheer:
- Bevoegde autoriteiten / referentielaboratoria: d.w.z. instituten en organisaties die door de bevoegde autoriteiten op nationaal niveau zijn aangewezen om technische en wetenschappelijke ondersteuning te bieden op specifieke gebieden die verband houden met milieubescherming.
- Onderzoekscentra en de academische wereld.
- Belanghebbenden in de sector.
- Overheidsinstellingen en normalisatie-instellingen.

QSAR (Quantitative Structure-Activity Relationship)-tool in de Risicoolbox

Grondwater

In opdracht van de Nederlandse drinkwaterbedrijven ontwikkelen KWR en RIVM een generieke tool om de sorptie en afbraak van opkomende stoffen tijdens bodempassage te schatten op basis van een database van molecuuleigenschappen van bekende stoffen. Hierbij wordt voortgebouwd op het QSAR-model Aquapriori (<https://www.kwrwater.nl/projecten/aquapriori/>), waarmee het verwijderingsrendement van nog niet geteste, prioritaire stoffen in waterbehandelingsprocessen wordt geschat op basis van informatie over bekende stoffen. De tool zal onderdeel worden van de Risicoolbox Grondwater en wordt naar verwachting in 2021 beschikbaar gemaakt voor gebruik.

9. LITERATUUR, BRONNEN EN LINKS

Adviescommissie Water, 2017. Advies over Grondwater.

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/06/15/advies-over-grondwater-van-de-adviescommissie-water>

Bunting, S.Y., D.J. Lapworth, E.J. Crane, J. Grima-Olmedo, A. Koroša, A. Kuczyńska, N. Mali, L. Rosenqvist, M.E. van Vliet, A. Togola, B. Lopez (2020). Emerging organic compounds in European groundwater. *Environmental Pollution*, Volume 269, 2021, 115945, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115945>.

Deltafact Toxiciteit over mengseleffecten, concept

Gezondheidsraad. Gevaarlijke stoffen in een circulaire economie. Den Haag: Gezondheidsraad, 2018; publicatienr. 2018/10.

https://www.gezondheidsraad.nl/binaries/gezondheidsraad/documenten/adviezen/2018/05/15/circulaire-economie/Gevaarlijke+stoffen+in+een+circulaire_economie+pro.pdf

Hamann, E., P.J. Stuyfzand, P.J., Greskowiak, J., Timmer, H., Massmann, G. The fate of organic micropollutants during long-term/long-distance river bank filtration *Sci. Total Environ.*, 545–546 (2016), pp. 629-640, [10.1016/j.scitotenv.2015.12.057](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.057)

Hartmann, J., Wuijts, S., van der Hoek, J. P., & de Roda Husman, A. M. (2019). Use of literature mining for early identification of emerging contaminants in freshwater resources. *Environmental Evidence*, 8(1), 1-15.

Hartmann, J., van Driezum, I., Ohana, D., Lynch, G., Berendsen, B., Wuijts, S., van der Hoek, J.P. & de Roda Husman, A. M. (2020). The effective design of sampling campaigns for emerging chemical and microbial contaminants in drinking water and its resources based on literature mining. *Science of the Total Environment*, 140546.

IenW (2018). Uitvoeringsplan opkomende stoffen in water. Groeidocument. Versie november 2018

<https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2018/11/19/bijlage-1-uitvoeringsplan-opkomende-stoffen-in-water/bijlage-1-uitvoeringsplan-opkomende-stoffen-in-water.pdf>

Kivits, T., Broers, H. P., Beeltje, H., Van Vliet, M., & Griffioen, J. (2018). Presence and fate of veterinary antibiotics in age-dated groundwater in areas with intensive livestock farming. *Environmental Pollution*, 241, 988-998.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.085>

Kools, S., Loon, A. van, Sjerps, R., en Rosenthal, L., 2019. De kwaliteit van bronnen van drinkwater in Nederland. KWR, Nieuwegein, KWR2019.072.

<https://library.kwrwater.nl/publication/60016738/>

Lahr, J., Derksen, A., Wipfler, L., van de Schans, M., Berendsen, B., Blokland, M., Dimmers, W., Bolhuis, P., & Smidt, R. (2018). Diergeneesmiddelen & hormonen in het milieu door de toediening van drijfmest: Een verkennende studie in de Provincie Gelderland naar antibiotica, antiparasitaire middelen, coccidiostatica en natuurlijke hormonen in mest, (water)bodem, grondwater en oppervlaktewater. (Wageningen Environmental Research rapport; No. 2898). Wageningen Environmental Research.

<https://doi.org/10.18174/455340>

Leslie HA, Leonards PE, Brandsma SH, de Boer J, Jonkers N. Propelling plastics into the circular economy - weeding out the toxics first. *Environ Int* 2016; 94: 230-4.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.05.012>

Sjerps, R., Maessen, M., Raterman, B., Ter Laak, T., Stuyfzand, P. (2017). Grondwaterkwaliteit Nederland 2015-2016 - Chemie grondwatermeetnetten en nulmeting nieuwe stoffen. KWR-rapport 2017.024.

<https://library.kwrwater.nl/publication/54910776/>

Smedes, F, en J. de Weert 2016. Passive sampling van grondwater: Een trial in peilbuizen van het provinciaal meetnet van de provincie Noord-Brabant, Deltares rapport 1210074-000-BGS-0009, http://publications.deltares.nl/1210074_000.pdf.

RIVM. Infographic Grondwater stroomt traag. <https://www.rivm.nl/landelijk-meetnet-grondwaterkwaliteit>

Ter Laak, T., Puijker, L.M., Van Leerdam, J.A., Raat, K.J., Kolkman, A., De Voogt, P., en Wezel, A.P., 2012. Broad Target Chemical Screening Approach Used as Tool for

Rapid Assessment of Groundwater Quality. Science of the Total Environment, 2012. 427-428: p. 308-313. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22551937/>

Ter Laak, T., Sjerps, R., en Kools, S., 2017. Quick-scan Diergeneesmiddelen in de waterketen. KWR, Nieuwegein, KWR 2017.037
<https://library.kwrwater.nl/publication/55041110/>

Van Driezum, I.H., Derx, J., Oudega, T.J., Zessner, M., Naus, F.L., Saracevic, E., Kirschner, A.K.T., Sommer, R., Farnleitner, A.H., . Blaschke A.P. Spatiotemporal resolved sampling for the interpretation of micropollutant removal during riverbank filtration Sci. Total Environ., 649 (2019), pp. 212-223,
[10.1016/j.scitotenv.2018.08.300](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.300)

Van Driezum, I.H., Beekman, J., van Loon, A.H., van Leerdam, R., Wuijts, S., Rutgers, M., Boekhold, S., Dik, H., Zijp, M., 2020 (in prep). Staat Drinkwaterbronnen. RIVM rapport.

Van Loon, A.H., Pronk, T., Raterman, B., Ros, S., 2020. Grondwaterkwaliteit Nederland 2020. Anorganische parameters, bestrijdingsmiddelen, farmaceutica en overige verontreinigende stoffen in de grondwatermeetnetten van de provincies. KWR 2020.067 <https://library.kwrwater.nl/publication/61459076/>

Van Gaalen, F., Osté, L., van Boekel, E.. Nationale Analyse Waterkwaliteit. Eindrapport PBL 30 april 2020. https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-nationale-analyse-waterkwaliteit-4002_0.pdf

Verhagen, F. T., Holsteijn, A., Schipper, M. (2018). Feitenrapport Brede Screening bestrijdingsmiddelen Maasstroomgebied 2016. Rapport alleen voor intern gebruik.

Verhagen, F.T., Schipper, M., Avis, L. (2020). Feitenrapport Smalle Screening bestrijdingsmiddelen en opkomende stoffen Maasstroomgebied. Rapport alleen voor intern gebruik.

Versteegh, J.F.M. en Dik, H.H.J., 2014. De Staat van het Drinkwater in Nederland, 2012. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2014-0137.pdf>

Wit, M., Claessens, J., Dik H., van der Aa, M. (2020). Trendanalyse grondwaterkwaliteit van drinkwaterwinningen (2000 - 2018). RIVM-rapport 2020-0044. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2020-0044.pdf>

Wuijts, S., J. J. Bogte, H. H. J. Dik, W. H. J. Verweij and N. G. F. M. van der Aa (2014). Eindevaluatie gebiedsdossiers drinkwaterwinningen. Bilthoven, Nederland, RIVM. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/270005001.pdf>

10. COLOFON

Auteurs

Rianne van den Meiracker (Deltares)

Mariëlle van Vliet (TNO)

Arnaut van Loon (KWR)

Inge van Driezum (RIVM)

Hilde Passier (Deltares)

Controle

Erwin Roex (Deltares)

Akkoord

Rob Nieuwenhuis (Deltares)