

# VERGRIJZING VAN GRONDWATER: handelingsperspectieven voor de voortschrijdende aantasting van grondwaterkwaliteit door menselijke invloeden

- Eindrapport van het KIWK-project Grondwater -

▶▶ KIWK 2022-23



Kennisimpuls  
**WATERKWALITEIT**

## ▶▶ KIWK IN HET KORT

---

Dit rapport is geschreven in het kader van het project **Vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op langetermijneffecten** van de Kennisimpuls Waterkwaliteit.

In de Kennisimpuls werken Rijk, provincies, waterschappen, drinkwaterbedrijven en kennisinstituten aan meer inzicht in de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater en de factoren die deze kwaliteit beïnvloeden. Daarmee kunnen waterbeheerders en andere partijen de juiste maatregelen nemen om de waterkwaliteit te verbeteren en de biodiversiteit te vergroten.

In het programma brengen partijen bestaande en nieuwe kennis bijeen, en maken ze deze kennis (beter) toepasbaar voor de praktijk. Hiermee verstevigen ze de basis onder het waterkwaliteitsbeleid. Het programma is gestart in 2018 en duurde vier jaar. Het werd gefinancierd door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, STOWA, waterschappen, provincies en drinkwaterbedrijven.

**Kennisimpuls Waterkwaliteit.**

**Beter weten wat er speelt en wat er kan.**

## ▶▶ COLOFON

---

**Opdrachtgever** Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK)

**Gebuykerscommissie Kennisimpuls waterkwaliteit**

**Vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op langetermijneffecten**

Deltares	Wilko Verweij Hilde Passier Nanne Hoekstra Rianne van den Meiracker Kevin Ouwerkerk
KWR	Arnaut van Loon
RIVM	Frank Swartjes Julia Hartmann
TNO	Mariëlle van Vliet Joris Dijkstra
WEnR	Jaap Bloem Peter Schipper

**Vormgeving** Shapeshifter.nl | Utrecht

**STOWA-rapportnummer** 2022-23  
**ISBN** 978.90.5773.961.3

**Copyright** De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is kosteloos verkrijgbaar.

**Disclaimer** Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteur(s) en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

## ▶▶ VOORWOORD

---

Het Kennisimpuls Waterkwaliteit-project 'Vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op langetermijneffecten' richt zich op de kwaliteit van grondwater op de lange termijn. Een van de bedreigingen voor een duurzaam gebruik van het grondwater is de aanwezigheid van veel verschillende antropogene stoffen. Hoewel veel van deze stoffen net onder de norm blijven vormen ze toch een bedreiging voor toekomstig gebruik. Echt schoon grondwater wordt steeds schaarser.

De nadelige effecten van menselijk ingrepen werken niet 1-op-1 door op de kwaliteit van het (diepere) grondwater; er zijn drie barrières die ervoor zorgen dat deze effecten worden vertraagd en verminderd.

- Geohydrologische bescherming bestaat uit slecht doorlatende lagen die stoffen tegenhouden.
- Bodembioïologische bescherming wordt geboden door organismen in de bodem die stoffen afbreken.
- Geochemische bescherming bestaat uit de aanwezigheid van o.a. mineralen in de ondergrond die stoffen vastleggen of afbreken.

In het voorliggende eindrapport van dit project worden alle resultaten van het project bijeengebracht. De drie barrières worden besproken, met verwijzing naar aparte producten. Daarnaast wordt een uitgebreide analyse beschreven van meetgegevens van opkomende stoffen in grondwater. Ook wordt een veelomvattende uitwerking gegeven van mogelijke handelingsperspectieven.

Het is mijn hoop en verwachting dat dit rapport bijdraagt aan een betere bescherming van de grondwaterkwaliteit zodat ook toekomstige generaties schoon grondwater tot hun beschikking hebben.

### **Eric Castenmiller (Provincie Limburg)**

*Voorzitter gebruikerscommissie 'Vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op langetermijneffecten'*

## ▶▶ SAMENVATTING

---

In Nederland bevinden zich grote voorraden zoet grondwater. Deze worden gebruikt voor de productie van drinkwater, diverse industriële toepassingen en in de landbouw. Ook is schoon grondwater van belang voor veel natuurgebieden. Maar de grondwaterkwaliteit is niet meer voor alle functies overal optimaal en staat onder toenemende druk. In de afgelopen decennia zijn zowel de kennis als de zorgen over grondwaterverontreiniging toegenomen: van weinig stoffen op lokale schaal in relatief hoge concentraties, naar veel stoffen op meer diffuse schaal in relatief lage concentraties. Dit laatste wordt aangeduid als ‘vergrijzing’<sup>1</sup> van het grondwater. In de laatste decennia is gebleken dat grondwater geleidelijk ‘vergrijsd’ raakt. Menselijke ingrepen in de bodem en ondergrond kunnen dat verder versnellen door aantasting van barrières die ervoor zorgen dat verontreinigingen worden vertraagd en verminderd.

De Kennisimpuls Waterkwaliteit (2018-2022) beoogde door middel van onderzoek beter inzicht te krijgen in de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater en in de factoren die deze kwaliteit beïnvloeden. Voor het project “Vergrijzing van grondwater: handelingsperspectieven voor de voortschrijdende aantasting van grondwaterkwaliteit door menselijke invloeden” is nagegaan in hoeverre drie natuurlijke barrières, op lange termijn het grondwater kunnen blijven beschermen tegen invloeden vanaf het oppervlak: de fysieke, bodembioïologische en geochemische barrières.

### BARRIÈRES

Voor de fysieke barrière (in de vorm van bijvoorbeeld slecht-doorlatende kleilagen) is een kaart gemaakt waarmee op regionale schaal staat aangegeven waar doorboringen, bijvoorbeeld voor de aanleg van bodemenergiesystemen, het minst een risico vormen voor de grondwaterkwaliteit, en ook in welke gebieden extra aandacht voor zorgvuldige uitvoering nodig is. De kaart kan ook worden gebruikt om de maximale dieptes van putten te markeren. In de case-study Woerden is door middel van hypothetische scenario’s de invloed gesimuleerd van aanleg van bodemenergiesystemen op de verdere verspreiding van puntverontreinigingen. Daaruit bleek dat een goede afdichting van boorgaten cruciaal is om verslechtering van de grondwaterkwaliteit tegen te gaan.

Voor de bodembioïologische barrière, die bestaat uit organismen die verontreinigende stoffen afbreken, is in kaart gebracht in welke bodems een hoger en een lager zelfreinigend vermogen wordt verwacht. Micro-organismen in de bodem zijn cruciaal voor het zelfreinigend vermogen en tegelijkertijd gevoelig voor stress ten gevolge van die verontreinigingen. In een praktijkproef werden, voor het eerst, effecten van een mengsel van de meest voorkomende pesticiden in landbouwgrond onderzocht in een concentratiereeks. De maximale concentraties in het veld blijken niet ver onder de waarden te liggen waar remming van microbiële activiteit (c.q. het zelfreinigend-vermogen) kan optreden.

Voor de geochemische barrière is in kaart gebracht hoe groot het buffervermogen van pyriet in de Nederlandse ondergrond is. De kaart laat zien dat de bufferwerking voor het ondiepe grondwater (<15 m) op de hoge zandgronden en het lossgebied binnen enkele tientallen jaren of minder uitgeput kan zijn. De ruimtelijke variatie is echter groot. In de case-study Grubbenvorst is nagegaan hoe gedetailleerd chemisch onderzoek aan grondwater en sediment kan helpen om de ontwikkeling van de grondwaterkwaliteit bij drinkwaterwinningen beter te begrijpen. Daaruit bleek dat het belangrijk is geochemische gegevens te combineren met experimenteel verkregen informatie over de reactiviteit van sediment, om zo beter inzicht te krijgen in de verwachte ontwikkeling van de ruwwaterkwaliteit.

### INDICATOR

Om de mate van vergrijzing van het grondwater uit te drukken in een eenduidig interpreteerbaar getal, is een eerste opzet voor een grondwaterkwaliteitsindicator ontwikkeld. Die kan worden gebruikt om de grondwaterkwaliteit tussen locaties te vergelijken of trends in de tijd te onderzoeken, in termen van risico’s. Een indicator biedt de mogelijkheid om meer

---

<sup>1</sup> Volledige definitie: de voortschrijdende, sluimerende, beïnvloeding van de chemische kwaliteit van grondwater tot steeds grotere diepte.

nuance in de KRW-toestand-beoordeling te krijgen en om geleidelijke veranderingen in de grondwaterkwaliteit zichtbaar te maken. Het is een belangrijk instrument voor grondwaterbeheerders.

### **OPKOMENDE STOFFEN**

De gegevens van provincies en drinkwaterbedrijven over het vóórkomen van opkomende stoffen in grondwater zijn gecombineerd in één database. Met die informatie is een analyse gedaan van welke stoffen veel voorkomen, hoe de trends zijn in de tijd, en hoe de gemeten concentraties zich verhouden tot normen of richtwaarden. De database is geschikt voor analyses op landelijke schaal. De analyseresultaten bevestigen de diffuse aanwezigheid van opkomende stoffen in het grondwater. Opkomende stoffen komen door het hele land voor in het grondwater, op alle bemeaten dieptes. In totaal zijn in deze database over het Nederlandse grondwater ruim duizend verschillende aangetroffen stoffen opgenomen die wij hebben aangemerkt als opkomende stoffen. Hiervan is een beperkt aantal op grote schaal in het Nederlandse grondwater aanwezig. Veruit de meeste stoffen zijn incidenteel aangetroffen en lijken daarmee enkel de lokale grondwaterkwaliteit te bepalen. Dit lokale karakter is kenmerkend voor de verspreiding van opkomende stoffen in grondwater.

### **HANDELINGSPERSPECTIEVEN**

Om de grondwaterkwaliteit te verbeteren en toekomstige bedreigingen van de grondwaterkwaliteit vóór te zijn, zijn maatregelen nodig. Er zijn diverse typen benaderingen geïnventariseerd, uitgesplitst naar:

- Stofgroep (bestrijdingsmiddelen, meststoffen, historische verontreinigingen en opkomende stoffen).
- Locatie: bij de bron, op het pad of bij de receptor.
- Ingreep (bodemenergiesystemen, geothermie, actieve infiltratie).
- Barrière (fysiek, bodembologisch, geochemisch).

### **CONCLUSIES**

De grondwaterkwaliteit staat in toenemende mate onder invloed van chemische stoffen, in grote aantallen en vaak in lage concentraties. De voorraad 'maagdelijk' grondwater neemt daardoor af. In dit rapport is inzicht gegeven in het belang van behoud van verschillende barrières en zijn tools beschreven waarmee beleidsmakers worden geholpen met het kiezen van maatregelen die de negatieve invloed op grondwaterkwaliteit zo veel mogelijk verminderen.

	<b>Kennisimpuls Waterkwaliteit in het kort</b>	2
	<b>Voorwoord</b>	4
	<b>Samenvatting</b>	5
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	9
1.1	De waarde van schoon grondwater	9
1.2	Grondwaterkwaliteit onder druk	9
1.3	Conceptuele benadering van dit project	10
1.4	Doel en aanpak	11
<b>2</b>	<b>VERGRIJZING VAN HET GRONDWATER/AANTASTING VAN DE GRONDWATERKwaliteit</b>	13
2.1	Wat is vergrijzing van het grondwater	13
2.2	Natuurlijke barrières	14
	2.2.1 Beschermingskaart doorboringen	14
	2.2.2 Bodembioologische bescherming op de kaart	15
	2.2.3 Beschermingskaart geochemische buffering	19
2.3	Risico's voor toename vergrijzing	21
	2.3.1 Case study Grubbenvorst	21
	2.3.2 Case study Woerden	23
2.4	Risico's voor toename vergrijzing	24
<b>3</b>	<b>OPKOMENDE STOFFEN IN GRONDWATER</b>	26
3.1	Inleiding	26
	3.1.1 De database	28
	3.1.2 Verrijken database	28
3.2	Stoffen	28
	3.2.1 Geselecteerde stoffen voor deze studie	29
	3.2.2 Risico's opkomende stoffen in Nederlands grondwater	30
3.3	Resultaten database	33
	3.3.1 Database in zijn geheel	34
	3.3.2 Per stofgroep	35
	3.3.3 Per stof	42
3.4	Inzoomen op regionale schaal	50
3.5	Conclusies en aanbevelingen	50
	3.5.1 Eigenschappen en beperkingen van de database Opkomende stoffen in grondwater	50
	3.5.2 Verwerking en bewerking van data	51
	3.5.3 Opkomende stoffen in grondwater	51
	3.5.4 Verdere valorisatie	52
	3.5.5 Status database en aanbevelingen voor behoud van de database	52
	3.5.6 Uitgevoerd onderzoek en oorspronkelijke plan van aanpak van de themagroep grondwater van de werkgroep Aanpak Opkomende Stoffen	52

<b>4</b>	<b>RISICO'S GERELATEERD AAN GROTE MAATSCHAPPELIJKE ONTWIKKELINGEN</b>	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>HANDELINGSPERSPECTIEVEN</b>	<b>56</b>
5.1	Inleiding	56
	5.1.1 Doel	56
	5.1.2 Opzet voor handelingsperspectieven	56
	5.1.3 Type stoffen	57
5.2	Uitwerking handelingsperspectieven bij de bron	57
	5.2.1 Duiding bron	57
	5.2.2 Een emissie op of in de onverzadigde laag van de bodem - menselijk handelen -	57
	5.2.3 Reeds bestaande verontreiniging in de onverzadigde bodemlaag	61
	5.2.4 Een immissie direct in grondwater door een externe bron	63
	5.2.5 Een immissie direct in grondwater door aangrenzend verontreinigd grondwater	63
	5.2.6 Overzicht	63
5.3	Uitwerking handelingsperspectieven in het pad	63
	5.3.1 Barrières	63
	5.3.2 Ingrepen	63
	5.3.3 Overzicht	71
5.4	Uitwerking handelingsperspectieven bij de receptor	71
5.5	Uitwerking handelingsperspectieven gerelateerd aan open en gesloten bodemenergiesystemen	71
	5.5.1 Handelingsperspectief gesloten bodemenergiesystemen	71
	5.5.2 Handelingsperspectief open bodemenergiesystemen	72
5.6	Uitwerking handelingsperspectieven gerelateerd aan geothermie	72
5.7	Uitwerking handelingsperspectieven gerelateerd aan bodembioïologische bescherming	74
5.8	Opkomende stoffen	74
5.9	Indicator vergrijzing van grondwater	75
5.10	Conclusies	76
<b>6</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>77</b>
<b>7</b>	<b>LITERATUUR</b>	<b>79</b>
<b>BIJLAGE 1</b>	Samenstellen en opschonen en van de database opkomende stoffen in het grondwater, en een overzicht van de data die in de database zitten	82
<b>BIJLAGE 2</b>	Meest voorkomende opkomende stoffen in het Nederlandse grondwater vanuit de literatuur	90
<b>BIJLAGE 3</b>	Vraaginventarisatie t.b.v. Kennisimpuls Grondwater	93
<b>BIJLAGE 4</b>	Aanzet tot een indicator, die de ernst van vergrijzing aangeeft voor het beschermdoel 'de mens', gericht op blootstelling ten gevolge van drinkwaterconsumptie uit privéwinning	94



## ▶▶ 1 INLEIDING

### 1.1 DE WAARDE VAN SCHOON GRONDWATER

Nederland is bevoorrecht met grote grondwatervoorraden, waarvan een flink deel zoet grondwater. Dat water wordt gebruikt voor de productie van drinkwater, maar ook in de industrie, bijvoorbeeld bij de productie van frisdranken, bier en conserven. Hierbij is de kwaliteit van dat grondwater van groot belang voor een efficiënte benutting en volksgezondheid. Grondwater is een betrouwbare bron die in vergelijking met oppervlaktewater minder zuivering behoeft, van constante kwaliteit is en in veel gebieden in Nederland beschikbaar is.

Ook in de landbouw wordt grondwater gebruikt voor de beregening van gewassen en drenking van vee. De kwaliteit van het grondwater kan de bruikbaarheid voor verschillende toepassingen bepalen, en in het geval van voedselgewassen de risico's voor de volksgezondheid beïnvloeden.

Schoon grondwater is daarnaast van belang voor veel natuurgebieden, zowel voor terrestrische (bijvoorbeeld laagvenen) als voor aquatische natuur (bijvoorbeeld in beekdalen). Grondwater bepaalt mede de hoeveelheid en de kwaliteit van het water in die natuurgebieden. Dit is met name belangrijk voor grondwater-afhankelijke ecosystemen, zoals genoemd als beschermdoel in de Kaderrichtlijn Water (KRW).

### 1.2 GRONDWATERKWALITEIT ONDER DRUK

Tal van stoffen zijn in het grondwater aanwezig ten gevolge van menselijk handelen. Daarbij gaat het om zeer uiteenlopende stoffen met uiteenlopende herkomst en gebruikspatronen. Op veel plaatsen is de bodem en het grondwater verontreinigd geraakt door industriële activiteiten, intensieve landbouw en transport. In de afgelopen decennia is het zicht op de aard en omvang van grondwaterverontreiniging veranderd, o.a. door voortschrijdende ontwikkeling van meettechnieken. In het verleden ging het vaak om relatief weinig stoffen, in relatief hoge concentraties. Voor de meest problematische stoffen zijn normen vastgesteld, waardoor een toetsingskader beschikbaar is. Veel bodemverontreinigingen zijn gesaneerd, maar er blijft dan vaak een rest-verontreiniging achter en er resteren verontreinigde locaties die niet met spoed gesaneerd hoeven te worden.

De grondwaterkwaliteit wordt op verschillende dieptes (5, 10, 25 m-mv) gemeten in landelijke en provinciale meetnetten. Daarnaast meten drinkwaterbedrijven de grondwaterkwaliteit in de putten waaruit ze grondwater oppompen en in waarnemingsfilters op diverse afstanden vanaf de drinkwaterwinning (meestal binnen de 25 jaarszone). Mede door de implementatie van de Kaderrichtlijn Water (KRW), waarvoor de analysepakketten voor de grondwatermonitoring sterk zijn uitgebreid, komt steeds duidelijker naar voren dat in veel van die meetlocaties het grondwater verontreinigd is, niet alleen met meststoffen (nitraat en stoffen die door afbraak van nitraat in de ondergrond vrijkomen zoals sulfaat en sporemetalen) en residuen van bestrijdingsmiddelen. Op veel plaatsen worden ook diverse andere milieuvreemde stoffen aangetroffen. Vaak in lage concentraties onder de norm, maar daarbij moet worden bedacht dat er voor opkomende stoffen meestal (nog) geen norm is en er vaak weinig over de toxiciteit bekend is.

Het verschijnsel van veel aanwezige stoffen, en per stof een lage concentratie, wordt aangeduid als 'vergrijzing' (PBL, 2020).

De zorgen over de geleidelijke verslechtering van de grondwaterkwaliteit worden versterkt door het toenemende gebruik van de ondergrond voor het realiseren van diverse maatschappelijke opgaven, zoals de energietransitie en klimaatadaptatie, de toenemende verstoringen van de ondergrond voor bouwactiviteiten, ondergronds ruimtegebruik, beregening en kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater. Verwacht wordt dat de ondergrond de komende jaren steeds intensiever benut zal worden voor energiewinning (zoals geothermie), energieopslag in open of gesloten bodemenergiesystemen, de opslag van wateroverschotten (afkoppelen en voorraadvorming) en de opslag van stoffen (zoals CO<sub>2</sub>). Deze activiteiten kunnen direct (via emissies uit de activiteit) of indirect (door verspreiding of verminderde afbraak van

emissies uit andere activiteiten) hun weerslag hebben op de grondwaterkwaliteit, en het proces van vergrijzing op de lange termijn versterken.

Om de verschillende functies van de ondergrond naast elkaar te kunnen laten bestaan, is goed inzicht in de risico's en mogelijke maatregelen noodzakelijk. De beschikbare kennis hierover is echter versplinterd en niet altijd toegespitst op grondwaterkwaliteitsbeheer om handelingsperspectieven voor waterbeheerders te ontwikkelen. Bovendien is de governance van grondwater complex.

### 1.3 CONCEPTUELE BENADERING VAN DIT PROJECT

De Adviescommissie Water stelde in haar advies (19 december 2017) dat in het grondwaterdomein grote opgaven spelen en dat met name de vergrijzing van de grondwaterkwaliteit een urgent probleem is, vooral omdat de drinkwatervoorziening hierdoor beïnvloed wordt. Om deze functie duurzaam te beschermen heeft de Commissie in haar advies diverse aanbevelingen gedaan, waaronder de noodzaak voor gebiedsgerichte en integrale visies voor grondwater als onderdeel van omgevingsvisies, het harmoniseren van normen voor grondwaterkwaliteit en meer aandacht voor de factor 'tijd' bij grondwaterbeheer (zie kader 1). Daarbij wordt aanbevolen dat het Rijk ondersteunt bij een gebiedsgerichte visievorming en aanpak met onder andere een nationaal kennisprogramma.

Binnen de Delta-aanpak Waterkwaliteit en Zoetwater werken overheden, maatschappelijke organisaties en kennisinstututen samen aan de verbetering van de waterkwaliteit. Deze samenwerking is voortgekomen uit de constatering dat de waterkwaliteit in grote delen van het land de afgelopen jaren duidelijk is verbeterd, maar dat niet alle doelen van de KRW voor de deadline van 2027 gehaald lijken te worden. In de Delta-aanpak liggen de prioriteiten op het beperken en tegen gaan van meststoffen, gewasbeschermingsmiddelen en medicijnresten in grond- en oppervlaktewater.

Als onderdeel van de Delta-aanpak hebben de kennisinstututen onder de paraplu van de KennisImpuls WaterKwaliteit de onderlinge samenwerking verstevigd, met als doel de ontwikkeling van efficiënte oplossingen voor waterkwaliteitsproblemen op verschillende ruimtelijke schalen. Eén van die projecten, KIWK Grondwater, richtte zich op grondwaterkwaliteit. Van dat project is dit het eindrapport.

#### **KADER 1: DE FACTOR TIJD IN GRONDWATERBEHEER**

De Adviescommissie Water roept in haar advies van 19 december 2017 op om in de keuzes voor grondwaterbeheer meer aandacht te geven aan de factor tijd. Daarbij wordt bedoeld dat de traagheid van het bodem- en grondwatersysteem tot gevolg heeft dat verontreinigingen die nu ontstaan vaak pas jaren later effect hebben op de kwaliteit van grondwater. De Adviescommissie wijst er tevens op dat maatregelen voor het verbeteren van de waterkwaliteit hierdoor pas op de lange termijn het gewenst effect hebben. In dit project hebben wij de factor tijd tevens beschouwd in relatie tot de voortschrijding van afbraak- en omzettingsprocessen en het herstel van bodemecosystemen.

### Barrières

De nadelige effecten van menselijk ingrepen werken niet 1-op-1 door op de kwaliteit van het (diepere) grondwater; er zijn drie barrières die ervoor zorgen dat deze effecten worden vertraagd en verminderd. KIWK Grondwater was intern georganiseerd volgens die drie barrières.

1. Geohydrologische bescherming bestaat uit slecht doorlatende lagen. Daardoor wordt de verspreiding van stoffen tegengegaan of verminderd (vooral verticaal). Door fysieke ingrepen in de bodem staat deze barrière onder druk.

2. Bodembioologische bescherming wordt geboden door organismen in de bodem die stoffen afbreken. Daardoor 'verdwijnen' schadelijke stoffen. Deze barrière staat onder druk door stoffen die in en op de bodem worden gebracht zoals nitraat, bestrijdingsmiddelen en hulpstoffen zoals EDTA daarin, geneesmiddelen, etc. Daardoor kan de activiteit van de biologische gemeenschap afnemen en daarmee ook de omzetting van schadelijke stoffen.
3. Geochemische bescherming bestaat door de aanwezigheid van reactieve mineralen en sedimentair organisch materiaal (SOM) in de ondergrond. Hierdoor kunnen verontreinigingen via chemische reacties afgebroken worden, maar de mate waarin wordt zowel bepaald door de aanwezige hoeveelheid verontreiniging, als de reactiviteit van de mineralen en SOM. Hierbij kunnen omzettingsproducten ontstaan of stoffen in oplossing gaan, die soms minder schadelijk zijn, maar ook kunnen leiden tot extra maatschappelijke kosten als gevolg van putverstopping of de noodzaak voor ontkalking. De voorraad van deze mineralen wordt geleidelijk verbruikt, waardoor de geochemische bescherming op de lange termijn af kan nemen.

### Thema's

Binnen KIWK Grondwater zijn een vijftal thema's behandeld, die door een brede groep van stakeholders zijn aangedragen. Deze thema's zijn:

- Effecten van **bodemenergiesystemen** (WKO-toepassingen) op de grondwaterkwaliteit.
- Effecten van **geothermie** op de grondwaterkwaliteit.
- Effecten van **actieve infiltratie** van oppervlaktewater op de grondwaterkwaliteit.
- Voorkomen, verspreiding en herkomst van **opkomende stoffen** in het grondwater.
- Inzicht in de **vergrijzing** van het grondwater, i.e. de sluimerende beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit tot steeds grotere diepte en de gevolgen hiervan voor het gebruik van grondwater.

### 1.4 DOEL EN AANPAK

Het algemene doel van het project KIWK Grondwater was 1) na te gaan of de kwaliteit van het grondwater op de lange termijn voldoet om grondwaterafhankelijke functies te kunnen vervullen en 2) handelingsperspectieven te bieden om de grondwaterkwaliteit waar nodig te verbeteren of het grondwater beter te beschermen, rekening houdend met de lange termijn waarop effecten zichtbaar worden. Daartoe zijn van de vijf bovengenoemde thema's de volgende vragen beschouwd.

- Wat is de mate van vergrijzing op de lange termijn en wat zijn hiervan de consequenties?
- Welke van de drie hierboven genoemde barrière(s) voorkómen of vertragen in welke mate de verontreiniging van grondwater?
- Blijven deze barrières in stand of nemen ze af?
- Wat zijn de meest kwetsbare gebieden?
- Welke maatregelen zijn effectief en efficiënt om eventuele problemen te voorkomen of te verminderen?

Daarmee hebben we in meer of mindere mate inzicht verkregen in

- de **oorzaken** van verontreiniging van het grondwater (aanwezigheid van emissiebronnen, de kenmerken van de ondergrond en kortsluitstroming via doorboringen van kleilagen, de relevante processen zoals grondwatertransport en omzettingsprocessen);
- de **gevolgen** van verontreiniging van het grondwater (hoe verspreiden verontreinigingen zich?). Worden verontreiniging sneller verspreid door preferente stromingen als gevolg van niet goed afgedichte doorboringen bij grootschalig gebruik van de ondergrond voor de energietransitie? Hoelang blijven chemische processen die nu voor afbraak en vastlegging zorgen in stand en wat betekent dit voor de ontwikkeling van de grondwaterkwaliteit op de lange termijn? Kunnen de microbiologische gemeenschappen die nu voor de afbraak zorgen ook vergiftigd worden door de cocktail van stoffen in de ondergrond, waardoor de afbraak vermindert?);
- de eventuele noodzaak van maatregelen;
- de mogelijke maatregelen.

### **Case-studies**

Daarnaast zijn twee case-studies uitgevoerd in KIWK Grondwater, namelijk in Woerden ('Laag' Nederland) en in Grubben-vorst ('Hoog' Nederland). Het doel was meer inzicht te krijgen in de mogelijke kwetsbaarheid van het grondwatersysteem in relatie tot het meer of minder functioneren van barrières voor concrete situaties in Nederland.

### **Producten**

KIWK Grondwater heeft een groot aantal producten opgeleverd. De resultaten uit deze producten komen allemaal in dit eindrapport aan bod, maar voor details wordt naar de verschillende rapportages verwezen. De producten zijn:

- een rapport over de status van vergrijzing van het grondwater in Nederland en inzicht in de trend hierin de afgelopen decennia;
- per thema een deltafact (eerste versie begin 2020; definitieve versie april 2022);
- een rapport met beschermingskaarten, voor elke barrière;
- per case-study een rapport.

Sommige aspecten, waaronder de handelingsperspectieven, zijn niet in een apart rapport beschreven, maar worden in dit eindrapport besproken.

### **Gebruikers**

Tijdens KIWK Grondwater heeft een gebruikerscommissie actief meegekeken met ons werk en ons 'bij de les gehouden'. Daarnaast is er een aantal malen een overleg geweest met een bredere groep gebruikers en zijn tal van ad-hoc-overleggen gevoerd. Doel daarvan was de producten uit KIWK Grondwater zo veel mogelijk bij de praktijk aan te laten sluiten.

## ▶▶ 2 VERGRIJZING VAN HET GRONDWATER

### 2.1 WAT IS VERGRIJZING VAN HET GRONDWATER

Door menselijke activiteiten komen steeds meer verontreinigende stoffen in het grondwater en omdat dit lang aanhoudt, komen stoffen ook steeds dieper in het grondwater (Van Loon *et al.*, 2020). De voortschrijdende, sluimerende, beïnvloeding van de chemische kwaliteit van grondwater tot steeds grotere diepte wordt ‘vergrijzing’ genoemd. Vergrijzing die leidt tot risico’s of gebruiksbeperkingen is een probleem, omdat grondwater gebruikt wordt bijvoorbeeld als grondstof voor drinkwater, frisdrank en bier, voor beregening van voedingsgewassen en het drenken van vee. Bovendien zijn bepaalde ecosystemen (terrestrische en aquatische) afhankelijk van voldoende schoon grondwater. Tot de mogelijke problemen behoren risico’s op mengseltoxiciteit (voor mensen en ecosystemen), intensievere en hogere kosten voor drinkwaterzuivering, versnelde afschrijving van putten en installaties en uitblijvend herstel van aquatische en terrestrische natuur.

Vergrijzing betreft enerzijds ingebrachte synthetische stoffen, anderzijds ook natuurlijke stoffen die door menselijke activiteiten in hogere concentraties voorkomen, direct als inputs, of indirect door reacties in de ondergrond. De stoffen waar het om gaat zijn bijvoorbeeld:

- meststoffen en bestrijdingsmiddelen; deze worden doelbewust toegepast op het land en komen voor een deel ook in het grondwater terecht;
- diverse stoffen die ten gevolge van industriële activiteiten in het grondwater terechtkomen of in het verleden terechtgekomen zijn;
- geneesmiddelen die in het grondwater terecht kunnen komen door lekkende riolen, via dierlijke mest of via infiltrerend oppervlaktewater;
- stoffen uit consumentenproducten, zoals PFAS, weekmakers, schoonmaakmiddelen en cosmetica;
- stoffen die vrijkomen bij ondergrondse activiteiten (b.v. geothermie en bodemenergiesystemen);
- algemene stoffen, bijvoorbeeld door toepassing van strooizout;
- metalen, kalk en andere bodembestanddelen die o.a. onder invloed van zuren, nitraat, ontwatering of vernatting in oplossing gaan.

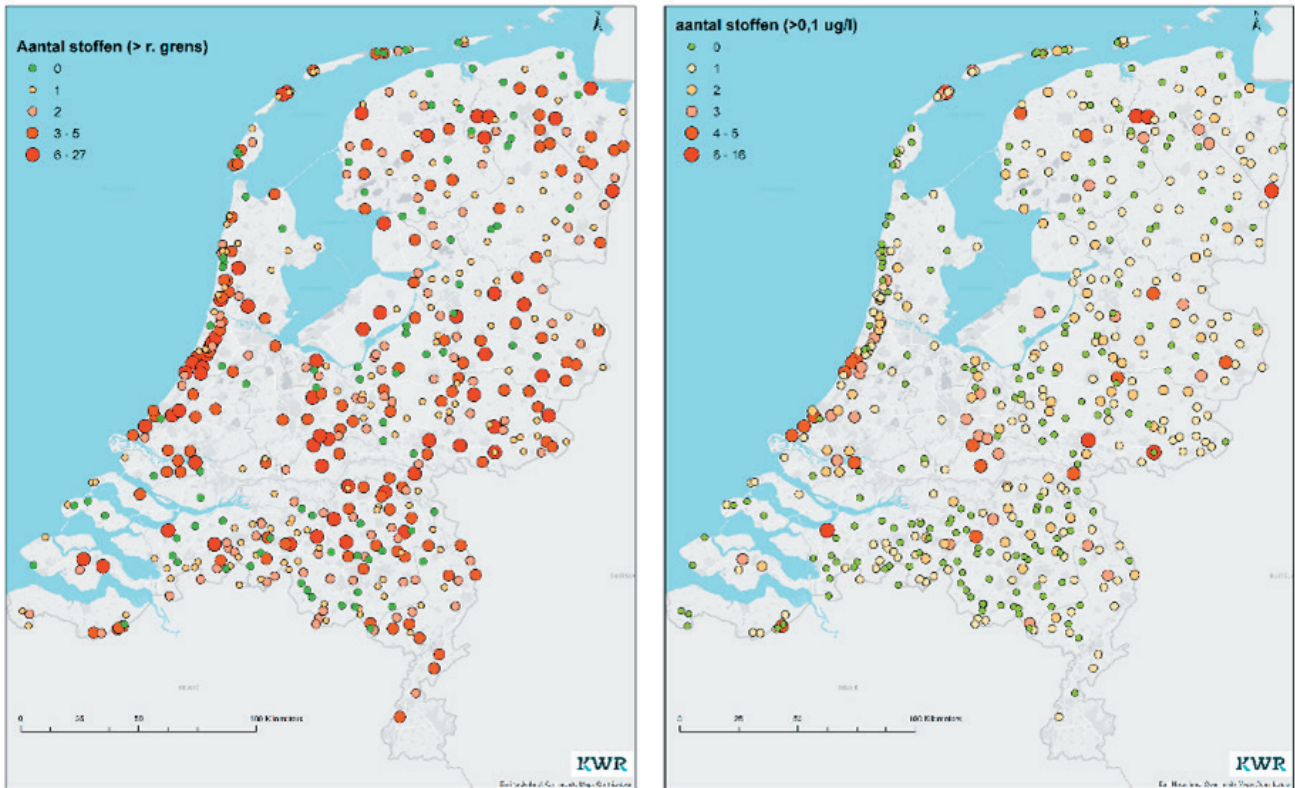
De stoffen komen in het grondwater via diffuse bronnen (agrarische activiteiten en atmosferische depositie), puntbronnen (lekkages, morsingen, andere calamiteiten en illegale lozingen) of lijnbronnen (infiltratie van oppervlaktewater onder invloed van waterhuishoudkundige ingrepen, zoals het onttrekken van grondwater of het opstuwen van waterpeilen). Maar ook hydrologische ingrepen (ontwatering, onttrekkingen en vernatting) of de aanleg van bodemenergiesystemen (niet goed afdichten van kleilagen bij doorboringen of lekkage van putten) kunnen bijdragen aan vergrijzing.

In Negash en Swartjes (2021) wordt een overzicht gegeven van de concentraties aan bestrijdingsmiddelen, meststoffen, en stoffen die ten gevolge van industriële activiteiten in het grondwater terechtkomen of in het verleden terechtgekomen zijn. De meetgegevens zijn afkomstig uit een breed scala aan rapporten, waarin concentraties in grondwater zijn opgenomen die zijn gemeten op verschillende dieptes en voor verschillende doeleinden. In het hoofdstuk Opkomende stoffen (Hoofdstuk 3) is een overzicht gegeven van het voorkomen van geneesmiddelen, PFAS en andere opkomende stoffen in grondwater. Ter illustratie van vergrijzing zijn in [Figuur 1](#) is het aantal aangetroffen door de mens gemaakte stoffen (bestrijdingsmiddelen, geneesmiddelen, en overige stoffen) in ondiep grondwater (<10 m diepte) boven de rapportagegrens (links) en boven de signaleringswaarde van 0,1 µg/l weergegeven (Van Loon *et al.*, 2019)

In Swartjes *et al.* (2022) wordt nader uiteengezet wat vergrijzing is, hoe het ontstaat, hoever de vergrijzing is voortgeschreden, wat de mogelijke consequenties zijn en hoe een indicator voor vergrijzing kan worden ontwikkeld.

## FIGUUR 1

Aantal aangetroffen stoffen door de mens gemaakt (bestrijdingsmiddelen, geneesmiddelen en overige stoffen) in ondiep grondwater (<10 m diepte) boven de rapportagegrens (links) en boven de signaleringswaarde van 0,1 µg/l (Van Loon et al., 2019)



## 2.2 NATUURLIJKE BARRIÈRES

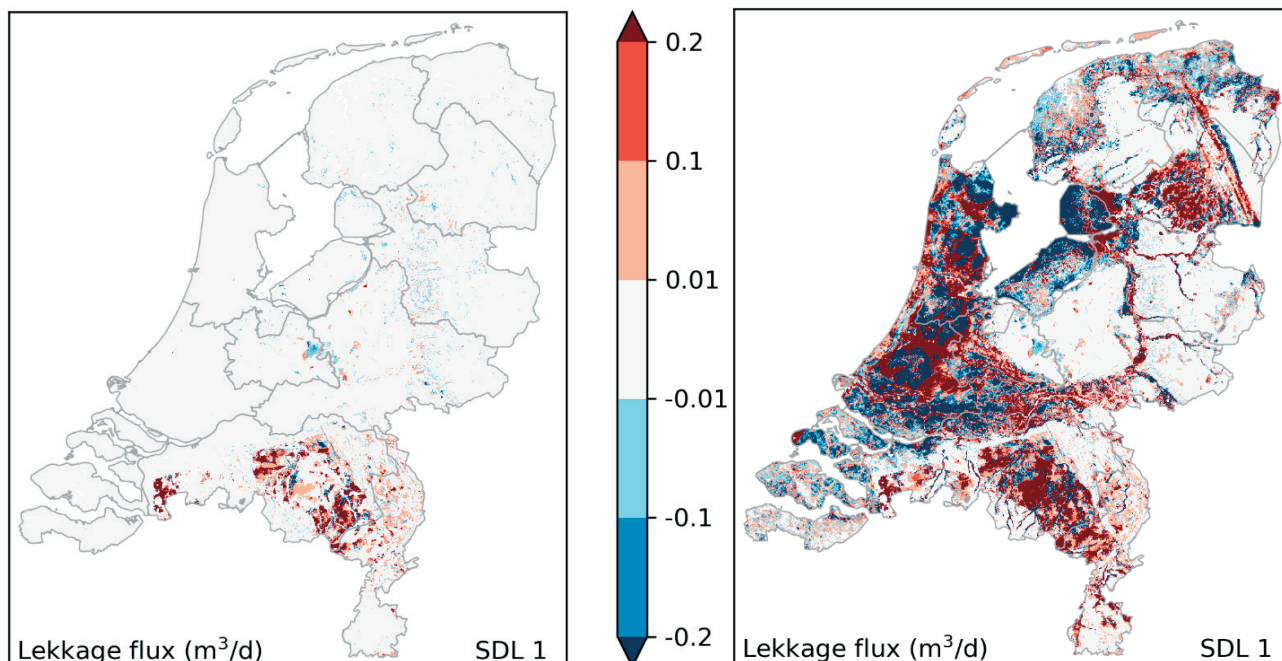
### 2.2.1 Beschermingskaart doorboringen

Met de beschermingskaart doorboringen is op regionale schaal in beeld gebracht waar (in potentie) verhoudingsgewijs veel kortsluitstroming kan optreden bij het doorboren van beschermende kleilagen (Van Vliet *et al.*, 2022a). De aanleiding lag hierbij op doorboringen bij gesloten bodemenergiesystemen, maar de resultaten zijn ook bruikbaar voor andere typen boringen en putten.

Voor deze kaart is berekend hoeveel water (volumestroom) er bij de huidige stijghoogteverdeling (gemiddelde stijghoogtes voor de periode 2011-2018 zijn gebruikt) door een niet goed afgesloten boorgat kan stromen. Deze lekroute representeert lekkage van het grondwater langs niet goed afgedichte buizen. Hiertoe is per slecht-doorlatende laag (SDL) een potentiële lekkageflux berekend bij een boorgat dat is opgevuld met materiaal met een hydraulische doorlaatbaarheids-waarde (k-waarde) van 1 m/d en met een extreem hoge k-waarde van 1000 m/d (zie [Figuur 2](#)). Deze waarden zijn gekozen om een beeld te geven van de mogelijke variatie in de potentiële lekkageflux bij een slechte afdichting. Een k-waarde van 1 m/d geeft de situatie weer van het ‘invallen van klei in het boorgat’ (gehele boorgat met straal van 7,2 cm) en een k-waarde van 1000 m/d geeft het extreme faalmechanisme ‘invallen van grind in het boorgat’ weer. Een positieve lekkageflux staat voor een flux van het bovenliggende watervoerende pakket naar het onderliggende watervoerende pakket. [Figuur 2](#) geeft de potentiële lekkageflux over LHM-modellaag SDL1 weer.

## FIGUUR 2

Landelijke 'Totale beschermkaart' voor LHM-modellaag SDL1, waarbij de potentiële lekkageflux (m<sup>3</sup>/d) is weergegeven over LHM-modellaag SDL1 bij een boorgat dat is opgevuld met materiaal met een k-waarde van 1 m/d (links) en met een extreem hoge k-waarde van 1000 m/d (rechts), provinciegrenzen 2019.



De beschermingskaart kan gebruikt worden om risicovolle locaties te identificeren, waarbij aandacht voor een goede afdichting van de boorgaten en buizen van een warmte- of koudebron en aandacht voor toezicht en handhaving van groot belang is. Voor grotere aantallen doorboringen, zoals voor gesloten bodemenergie-opslagsystemen, kan deze beschermingskaart worden gebruikt om de maximale dieptes voor aanleg te markeren, in verband met het doorboren van specifieke slecht-doorlatende lagen. Voor de lokale schaal, bijvoorbeeld om de invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen binnen het schaalniveau van een wijk op de grondwaterkwaliteit te onderzoeken, is de landelijke beschermingskaart niet geschikt.

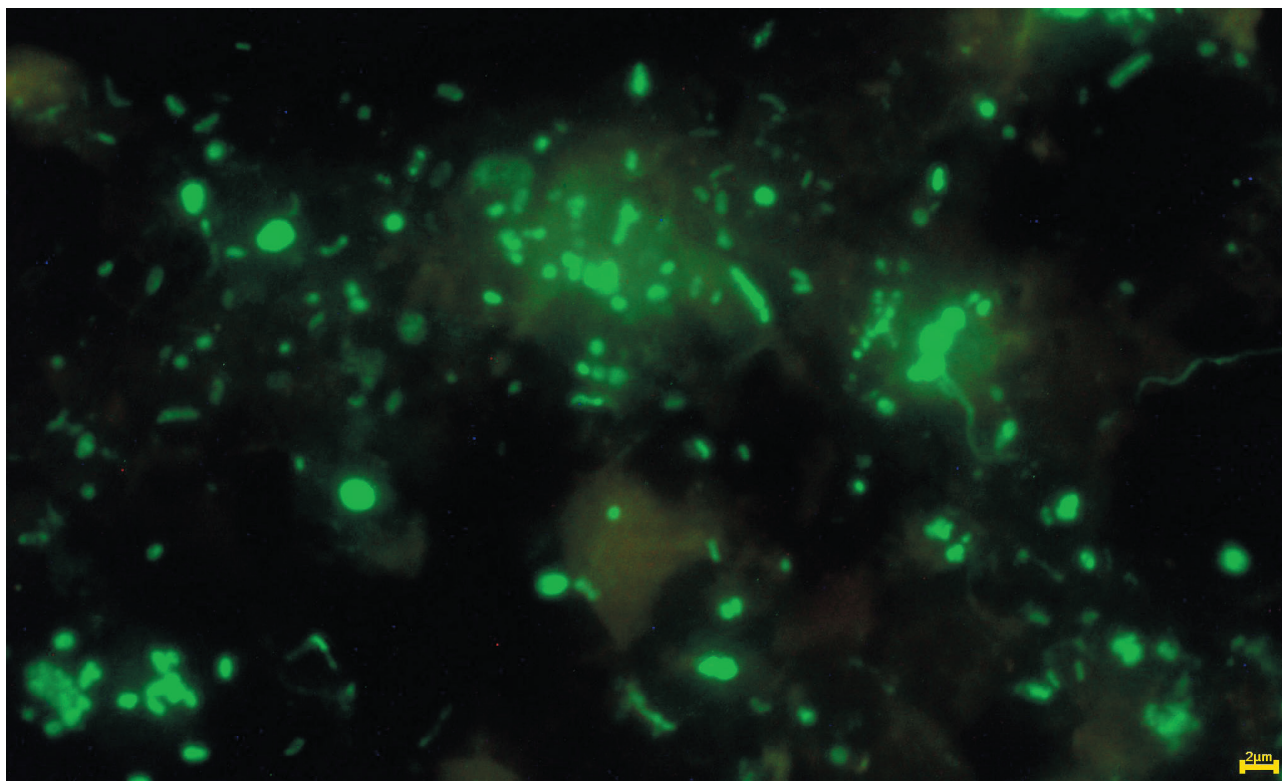
Het effect van de lekkageflux op de grondwaterkwaliteit is afhankelijk van het verschil in de grondwaterkwaliteit tussen de verschillende watervoerende pakketten. De gevolgen voor de grondwaterkwaliteit zijn groter bij verstoring van redox-zones, zoutwater upconing of doorboring van verontreinigingspluimen. Bij het doorboren van een grondwaterverontreiniging kan een kleine lekkage een grote hoeveelheid grondwater beïnvloeden, vooral als het gaat om een zaklaag als bron van de grondwaterverontreiniging.

### 2.2.2 Bodembioïologische bescherming op de kaart

Er zijn zorgen over de 'vergrijzing' van bodem en grondwater door de cocktail van verontreinigingen zoals bestrijdingsmiddelen, nutriënten, diergeneesmiddelen, en allerlei opkomende stoffen. Deze cocktail kan ertoe leiden dat organismen nadelige effecten ondervinden, waardoor het zelfreinigend vermogen van de bodem achteruitgaat. Ten gevolge van accumulatie is de bovengrond (0-25 cm) vaak het sterkst belast met verontreinigingen. Hier zijn de concentraties het hoogst, evenals de hoeveelheden organismen en de diversiteit van het bodemleven. Een groot deel van de verontreinigingen wordt door bacteriën en schimmels afgebroken, een klein deel komt terecht in het grondwater waar uiteindelijk de concentraties veel lager zijn. Micro-organismen (Figuur 3) zijn cruciaal voor het zelfreinigend vermogen en tegelijkertijd gevoelig voor stress ten gevolge van die verontreinigingen.

### FIGUUR 3

Micro-organismen in de bodem. De cellen lichten op na kleuring met een fluorescerende marker. Het maatstreepje is 2/1000 mm. In een theelepeltje grond zitten miljoenen bacteriën die bijdragen aan de bodembioologische bescherming van het grondwater. Foto Jaap Bloem.



Literatuurstudie wees erop dat verontreinigingen effect kunnen hebben op de microbiële gemeenschap in de bodem. De biomassa en structuur van de microbiële gemeenschap zijn gevoelig voor bestrijdingsmiddelen en andere verontreinigingen. Dit werd bevestigd door de empirische toetsen in KIWK Grondwater (Bloem *et al.*, 2022).

Op basis van data van het Bodembioologische Indicator (Bobi)-project (o.a. hoeveelheden micro-organismen, microbiële activiteit en mineralisatie; Rutgers *et al.*, 2014) zijn kaarten gemaakt voor de Atlas Natuurlijk Kapitaal (ANK). Eén daarvan geeft een landelijk beeld van het verwachte zelfreinigend vermogen van de bodem (Figuur 4). Deze is het laagst op lichte grond die intensief wordt gebruikt, zoals bij akker- en tuinbouw op zandgrond. Daar zijn naar verwachting de risico's van effecten van verontreinigingen op bodemleven het grootst. Deze verwachtingen over effecten van bodemtype, landgebruik en bodembeheer zijn echter gebaseerd op expert judgement en niet empirisch getoetst. Hier is dus nog een belangrijke kennisleemte waarvoor nader onderzoek wordt aanbevolen.

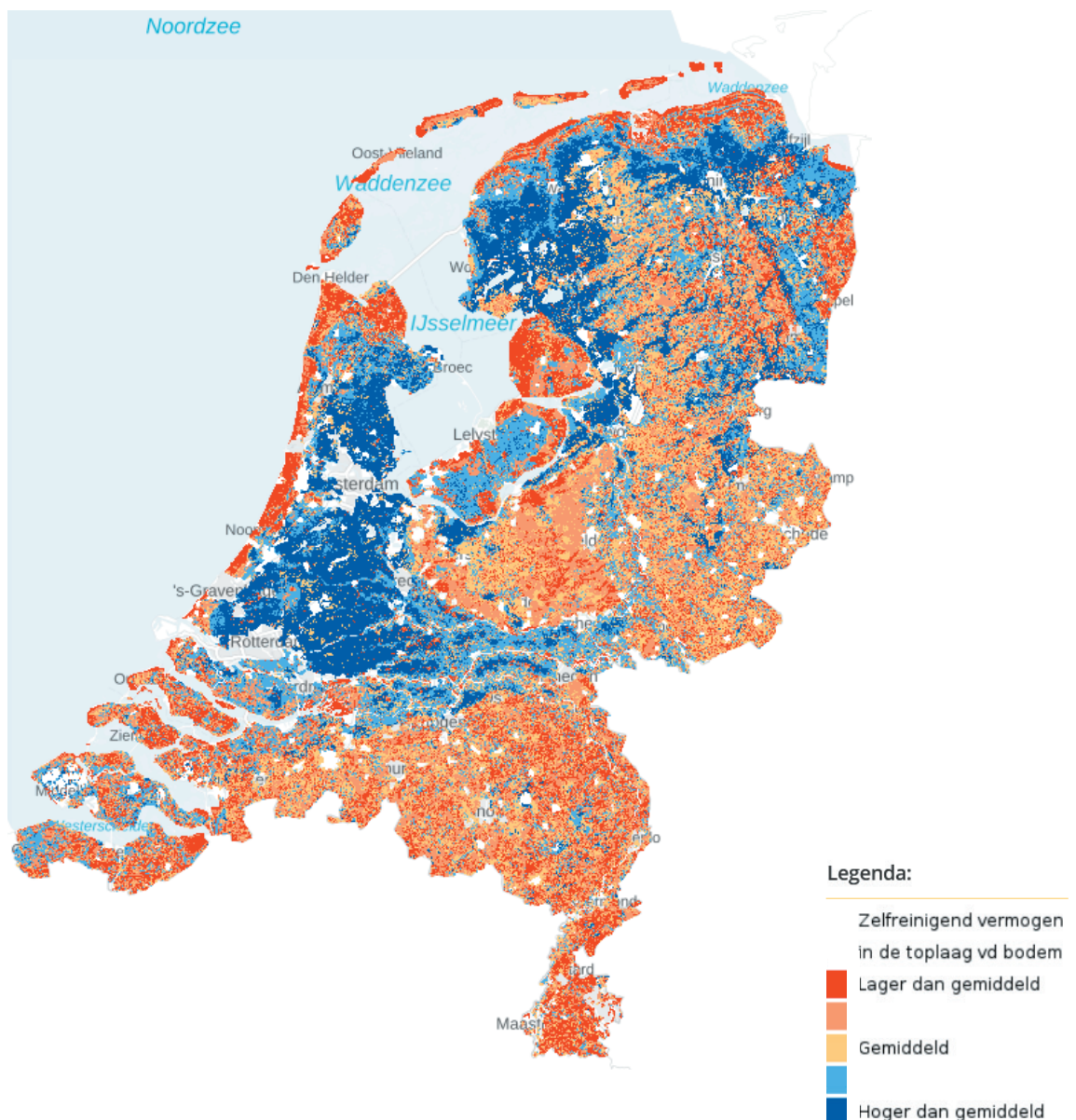
Omdat de potentiële risico's van verontreinigingen voor het bodemleven het grootst lijken op lichte grond die intensief wordt gebruikt, zijn toetsen uitgevoerd in een potproef met zandgrond (0-25 cm diepte) van een gangbaar akkerbouwsysteem met lage organische stof-aanvoer op proefbedrijf Vredepeel (Limburg). Aan de grond werd een mengsel van de vijf in West Europese landbouwbodems meest voorkomende verontreinigingen toegevoegd, in een reeks met toenemende concentraties. Het betreft het herbicide glyphosaat, de fungiciden boscalid, tebuconazool en epoxiconazool, en het insecticide imidacloprid, op basis van gemeten mediane concentraties (Silva *et al.*, 2019). Bovendien werd het antibioticum oxytetracycline (antibacterieel diergeneesmiddel) toegevoegd. De twee meest voorkomende PFAS-verbindingen bleken niet meer of slecht leverbaar en werden daarom niet meegenomen. Stikstof zat impliciet in de proef omdat in alle behandelingen ammoniumsulfaat (212 mg N/kg) werd toegevoegd om de omzetting in nitraat (nitrificatie) te meten (Bloem *et al.*, 2022).



Tot concentraties van 9x de mediane waarden werden geen negatieve effecten van het mengsel gevonden op de micro-organismen in de gebruikte zandgrond (Figuur 5). De microbiële groei werd gestimuleerd door de toegevoegde pesticiden. Dit weerspiegelt afbraak en zelfreinigend vermogen. Bij nog hogere concentraties van 27x en 81x de mediaan nam het aantal schimmels niet meer toe en was de toename van bacteriën geremd. De maximale concentraties in landbouwboedems waren 3x de mediaan voor het insecticide, 8-10x voor de fungiciden en 15x de mediaan voor het herbicide glyfosaat. De maximale concentraties lijken dus niet ver onder de waarden te liggen waar remming van microbiële activiteit (c.q. het zelfreinigend vermogen) kan optreden. Dit onderstreept het belang van zorgvuldig gebruik van bestrijdingsmiddelen om gewassen te beschermen tegen ziekten en plagen.

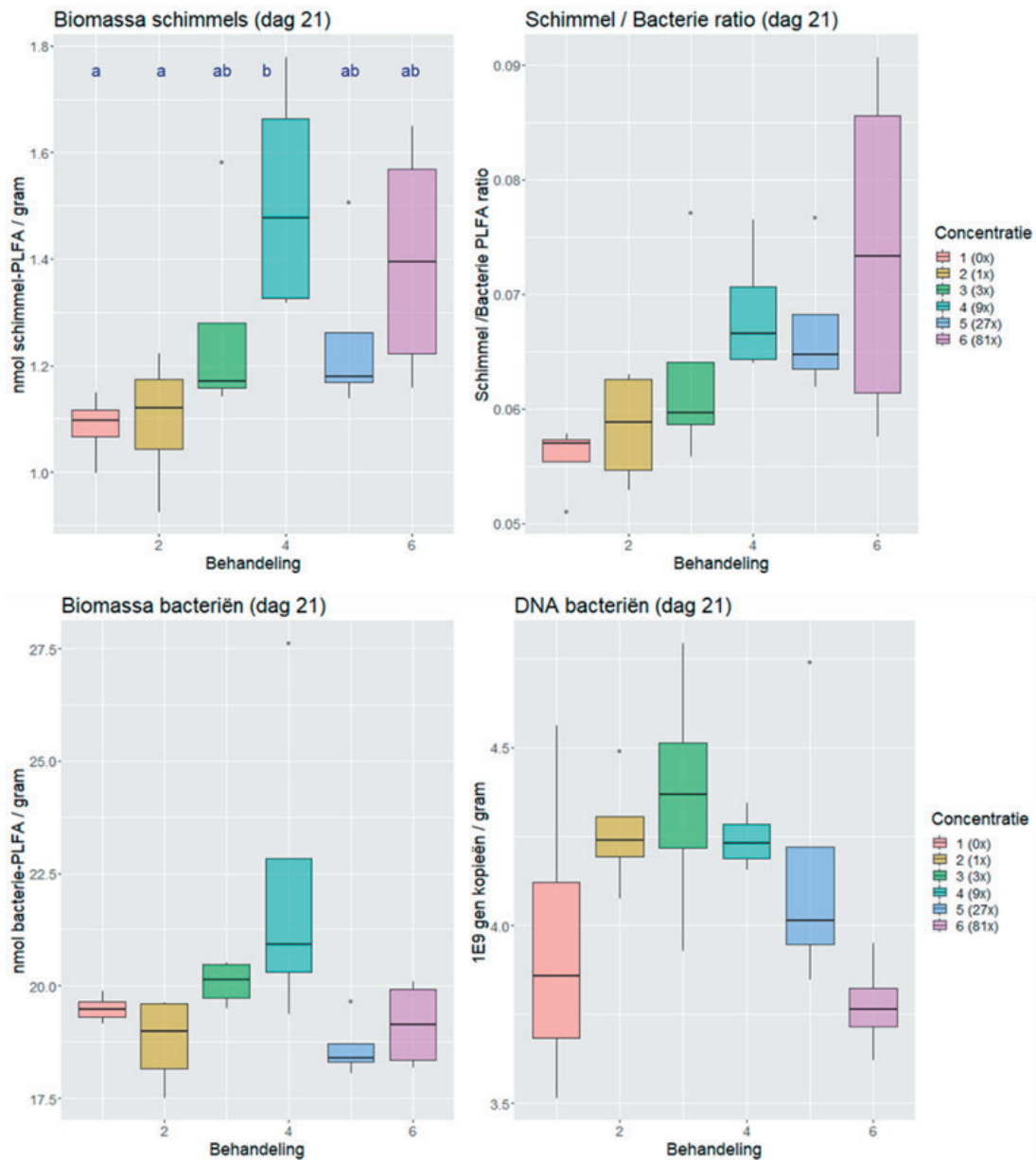
**FIGUUR 4**

*Kaart van het (verwachte) zelfreinigend vermogen. Deze is gebaseerd op extrapolatie van microbiële biomassa en activiteit die met regressie modellen is berekend op basis van landsdekkende data van bodemeigenschappen. Blauw is hoger dan gemiddeld, rood is lager dan gemiddeld. (Atlas Natuurlijk Kapitaal)*



## FIGUUR 5

Effect van toenemende concentratie (0-81x mediaan) van het mengsel van verontreinigingen op de schimmelbiomassa ( $P=0,019$ ), schimmel/bacterie verhouding ( $P=0,045$ ), de bacteriële biomassa ( $P=0,085$ ) en het aantal bacteriële genen ( $P=0,089$ ).



Voor zover bekend is dit het eerste onderzoek naar effecten van een realistisch mengsel van de meest voorkomende pesticiden op de micro-organismen in de bodem, op één tijdstip en één akkerbouwsysteem.

De relatie tussen de chemische bodemkwaliteit en de bodembioologische bescherming is een belangrijke kennisleemte (Bloem *et al.*, 2022). Meer inzicht is nodig om effecten van landgebruik en de effectiviteit van (duurzaam) bodembeheer en handelingsperspectieven te kunnen inschatten. Ook is er weinig bekend over mogelijke effecten van klimaatverandering met grotere extremen in temperatuur en vocht waardoor grote schommelingen in microbiële activiteit en stofconcentraties met hoge pieken van uitspoeling zouden kunnen optreden.

Hierbij zijn cascade-effecten door het hele bodemvoedselweb en op ecosystemendiensten te verwachten.

### 2.2.3 Beschermingskaart geochemische buffering

#### Inleiding

De chemische samenstelling van grondwater wordt bepaald door input van stoffen in het grondwatersysteem, de stroming van water door de ondergrond en de fysisch-chemische reacties die opgeloste stoffen tijdens dit transport ondergaan met de bodembestanddelen. Met bodembestanddelen worden de vaste organische en minerale delen van de sedimentmatrix bedoeld. Zo is het infiltrerende neerslagoverschot meestal oxisch en licht zuur, terwijl als gevolg van geochemische reacties kwelwater anoxisch en neutraal tot licht basisch is. Reactieve bestanddelen in de bodem en ondergrond zorgen voor chemische afbraak, omzetting en sorptie van diverse verontreinigingen. De belangrijkste reactieve bodembestanddelen in de Nederlandse ondergrond zijn weergegeven in Tabel 1. In deze tabel zijn tevens de belangrijkste reacties van de bodembestanddelen gemarkeerd. De ondergrond kan dus gezien worden als een reactievat. Maar deze werking duurt niet oneindig voort, omdat die bodembestanddelen langzaam verbruikt kunnen worden als ze met genoemde stoffen reageren afhankelijk van de optredende reactie. Daarnaast is het zo dat bij sommige bufferreacties ook stoffen vrijkomen die een verslechtering van de waterkwaliteit betekenen. Een bekend voorbeeld van een geochemische bufferreactie in de ondergrond is de afbraak van nitraat wanneer dit in aanraking komt met pyriethoudende lagen. Hierdoor wordt nitraat gereduceerd tot schadeloos stikstofgas en komen sulfaat, calcium, ijzer en sporemetalen vrij in het gereduceerde grondwater en op termijn mogelijk in het oppervlaktewater. Deze vrijkomende stoffen kunnen een bedreiging vormen voor de drinkwatervoorziening in bepaalde gebieden, afhankelijk van het landgebruik en de samenstelling van bodem en ondergrond. Een toename van de ijzerconcentratie is voor agrariërs ook ongunstig. Dit kan namelijk leiden tot verstoppingsproblemen van beregeningsputten en beregening met ijzerhoudend grondwater kan negatieve consequenties hebben voor het gewas.

De Nederlandse ondergrond heeft overal wel een zeker geochemisch buffervermogen, maar dit buffervermogen varieert sterk van plek tot plek als gevolg van de herkomst en ouderdom van de verschillende sedimentaire afzettingen. Vanuit het oogpunt van vergrijzing van het grondwater is er een behoefte om het inzicht in de werking en capaciteit van het geochemisch buffervermogen en de effecten van geochemische reacties op de grondwaterkwaliteit in de Nederlandse ondergrond te vergroten.

**TABEL 1**

*Bodembestanddelen met geochemische reactiviteit en belangrijkste reacties van de bodembestanddelen.*

BESTANDEEL	Redox reacties	Oplos/neerslag	Kat- /anion uitwisseling	Ad- en desorptie
Sedimentair organisch materiaal (SOM)	X		X	X
Calciumcarbonaat		X		X
IJzerhydroxides	X	X		X
Ijzersulfides (pyriet)	X	X		
Ijzercarbonaat (sideriet)	X	X		
Kleimineralen			X	X
Reactieve silicaten (glauconiet)	x	X		
Aluminiumhydroxides		X		X

#### Aanpak

Het opraken van het buffervermogen gebeurt eerder naarmate het gehalte aan reactieve bestanddelen lager is, en de belasting van het grondwater met verontreinigingen (vracht = flux \* concentratie) groter is. In dit hoofdstuk wordt een eerste stap gezet naar een inschatting van de (resterende) buffercapaciteit ten aanzien van doorslag van nitraat, zijnde één van de bedreigingen van bv. de kwaliteit van voor drinkwater onttrokken grondwater en kwelafhankelijke natuur. Het doel van de gepresenteerde kaarten van resterende buffertijden is vooral informatief: het geven van een idee aan belanghebbenden van de tijdsschalen die gemoeid zijn met het opraken van de buffercapaciteit van de ondergrond ten aanzien van nitraat, teneinde mogelijke misverstanden die daarover bestaan weg te nemen.

Een directe vertaling van gehalten aan bufferende bodembestanddelen naar resterende buffertijd is alleen werkbaar indien kinetiek veel sneller is dan de buffertijd en daardoor in feite geen rol van betekenis speelt. Voor pyriet is deze aanname op basis van de literatuur te verdedigen. Van organische stof is echter bekend dat kinetiek wel degelijk een rol speelt, omdat organische stof een heterogene groep stoffen is, waarvan een deel niet reactief is. Hierdoor kan nitraat sediment met organische stof passeren indien het organische stof onvoldoende reactief is. Daarnaast is het mogelijk dat ook DOC (opgelost organisch koolstof) dat vanuit de bouwvoor uitspoelt naar diepere bodemlagen nitraat reduceert. Om beide redenen is het op basis van de beschikbare informatie nog niet mogelijk om een eenduidige relatie tussen het organische stofgehalte en buffercapaciteit te leggen. In potentie heeft organische stof in sediment echter wel een groot aandeel in de buffercapaciteit.

De buffercapaciteit is hier berekend als (resterende) buffertijd op basis van de aanwezige voorraad pyriet. Hiertoe is per LHM-gridcel (250x250 m resolutie) de aanwezige voorraad pyriet berekend, en is, rekening houdend met de stoichiometrische verhoudingen in de reactievergelijkingen, berekend hoe lang het met de aangenomen nitraatvrucht duurt tot de totale aangevoerde hoeveelheid nitraat gelijk is aan de theoretisch benodigde hoeveelheid om alle pyriet en organische stof te oxideren. Het stromingsveld is afgeleid van het landelijke hydrologisch model en LHM-zoetzout, en de nitraatconcentratie in de grondwateraanvulling is berekend met het Landelijk waterkwaliteitsmodel voor 1 januari 2015. Vervolgens is over de modellagen, van boven naar beneden, de cumulatieve som van de buffertijd berekend. Uit het aldus ontstane 3D grid van buffertijden kunnen tot slot 2D doorsneden afgebeeld worden, bijvoorbeeld voor bepaalde diepteniveaus. Omdat deze kaarten alleen betrekking hebben op pyriet, geven ze een theoretische) buffercapaciteit die gezien kan worden als “worst-case”; de additionele rol van organische stof bij volledige pyrietuitputting[1] is buiten beschouwing gelaten.

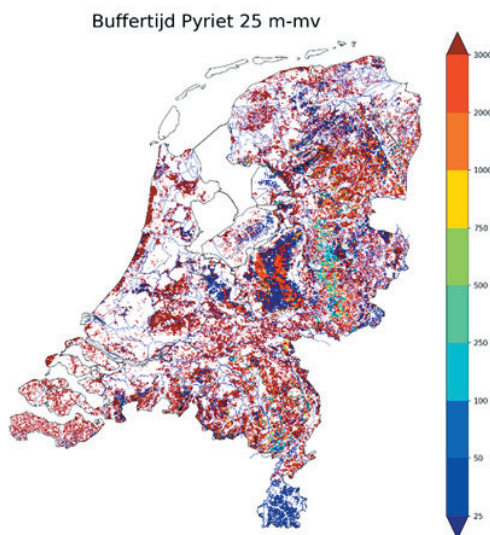
### Resultaten

In **Figuur 6** staat de geochemische beschermingskaart voor nitraatbuffering op basis van geschatte voorraden pyriet weergegeven. De kaart laat zien dat de buffertijden voor het ondiepe grondwater (<15 m) op de hoge zandgronden en het lössgebied vaak laag zijn, in de orde van enkele tientallen jaren of minder. De ruimtelijke variatie is echter groot en afhankelijk van de voorraden reactief materiaal, fluxen en de nitraatbelasting van het grondwater. Op grotere diepte is het grondwater uiteraard beter beschermd, maar ook daar bestaan er gebieden waar het pyriet binnen enkele tientallen jaren verbruikt kan zijn.

Sedimentair organisch materiaal biedt in potentie veel langere perioden waarin de bufferwerking operationeel is (honderden jaren) dan dit voor pyriet het geval is. De belangrijkste oorzaak is dat veel meer organische stof in de ondergrond aanwezig is dan pyriet. Echter, van sedimentair organische stof is bekend dat slechts een deel reactief is. Omdat de daadwerkelijke reactiviteit van sedimentair organische stof niet goed bekend is, kan het buffervermogen niet eenduidig worden vastgesteld.

### FIGUUR 6

*Indicatieve buffertijd (jaren) op basis van voorraden pyriet bij ruimtelijk variërende nitraatvrucht, op 15 m diepte. De buffertijden nemen toe met de diepte. Witte vlakken corresponderen met cellen waar geen sprake is van infiltratie, maar van kwel.*



## Conclusie

Bij gebruik van het kaartmateriaal zal met deze onzekerheden rekening moeten worden gehouden. Dat gezegd hebbende, laat de 3D-kaart een sterke ruimtelijke variatie zien, waarbij wel duidelijk is dat voor grote delen van Nederland pyriet met toenemende diepte al snel honderden of duizenden jaren bescherming kan bieden tegen nitraatdoorbraak. Tegelijkertijd zijn er ook gebieden waar zelfs op grotere diepten (> 25m) het beperkt aanwezige pyriet binnen afzienbare tijd (orde grootte tientallen jaren) verbruikt kan zijn. De berekende perioden waarin de bufferwerking operationeel is zijn geen indicatie voor het de mate waarin nitraat doorslaat naar de diepe ondergrond, maar geven een indicatie voor de termijn waarop de kwetsbaarheid van de ondergrond kan toenemen als gevolg van het opraken van geochemisch buffervermogen. Om beter inzicht in de buffertijden te verkrijgen is het noodzakelijk om meer kennis te hebben over de reactiviteit van sedimentair organisch materiaal, dat in potentie een lange periode levert waarin de bufferwerking operationeel is..

## 2.3 CASE STUDIES

### 2.3.1 Case study Grubbenvorst

De belangrijkste doelstelling van de case study in Grubbenvorst was te bepalen hoe gedetailleerde, locatie-specifieke geochemische metingen en reactiviteitsbepalingen kunnen helpen om de ontwikkeling van grondwaterkwaliteit gedurende stroming richting pompstations beter te begrijpen en de kwaliteitsontwikkeling van ruwwater te kunnen duiden en voorspellen.

In het kader van dit onderzoek zijn bulkanalyses uitgevoerd op sedimentmonsters. Daarnaast hebben we de reactiviteit van de sedimentmonsters ten opzichte van oxiderende stoffen bepaald door het zuurstofverbruik van de sedimenten gedurende batch labexperimenten met de micro-oxymax te bepalen. Samen met de gemeten koolzuurproductie tijdens de experimenten en de watersamenstelling aan het eind van het experiment is de aard van de optredende reactieve processen afgeleid. Vervolgens is verkend wat de mogelijke lange termijn effecten zijn van de uitspoeling van verzurende en oxiderende stoffen (nitraat en sulfaat) op de ruwwaterkwaliteit in de drinkwaterwinning. Deze analyse is herhaald, gebruikmakend van 1) landelijk beschikbare geochemische data, 2) lokaal verkregen bulk geochemische data en 3) lokaal verkregen bulk geochemische data aangevuld met reactiviteitsbepalingen op sedimentmonsters met de micro-oxymax.

De reactiviteitsmetingen laten duidelijk zien in welke mate geologische lagen in de boring reactief zijn met betrekking tot oxiderende stoffen (Figuur 7). Tevens kan de vaste fase die reactief is (bijv. pyriet, organisch materiaal) worden vastgesteld. De metingen tonen aan dat de geologische laagpakketten boven de (ondiepste) kleurovergang van het sediment in de boring van bruin naar grijs geen bufferende werking hebben tegen oxiderende stoffen die vanaf maaiveld uitspoelen. Bulk geochemische metingen en de daarvan afgeleide maximale gehalten reductieve fasen wijzen inderdaad op lage gehalten in deze laagpakketten. Echter, deze lage waarden lijken toch nog een overschatting te geven ten opzichte van de (afwezigheid van de) reactiviteit zoals die met de Oxymax-metingen in deze laagpakketten is vastgesteld. Daarnaast kon met de reactiviteitsmetingen bepaald worden welke reactieve bestanddelen ook daadwerkelijk reageren. De reactiviteitsmetingen met de Oxymax vergroten daarmee het inzicht in de mate waarin de gemeten hoeveelheden van reactieve fasen die aanwezig zijn, daadwerkelijk reactief zijn. Tevens tonen de metingen aan dat de sedimentmonsters uit het tweede watervoerende pakket onder de redoxovergang en de reactieve weerstandbiedende lagen nauwelijks reductieve reactiviteit hebben. Dat suggereert dat wanneer eenmaal nitraat in dit WVP terecht komt, dit waarschijnlijk niet meer zal worden afgebroken voordat het wordt opgepompt.

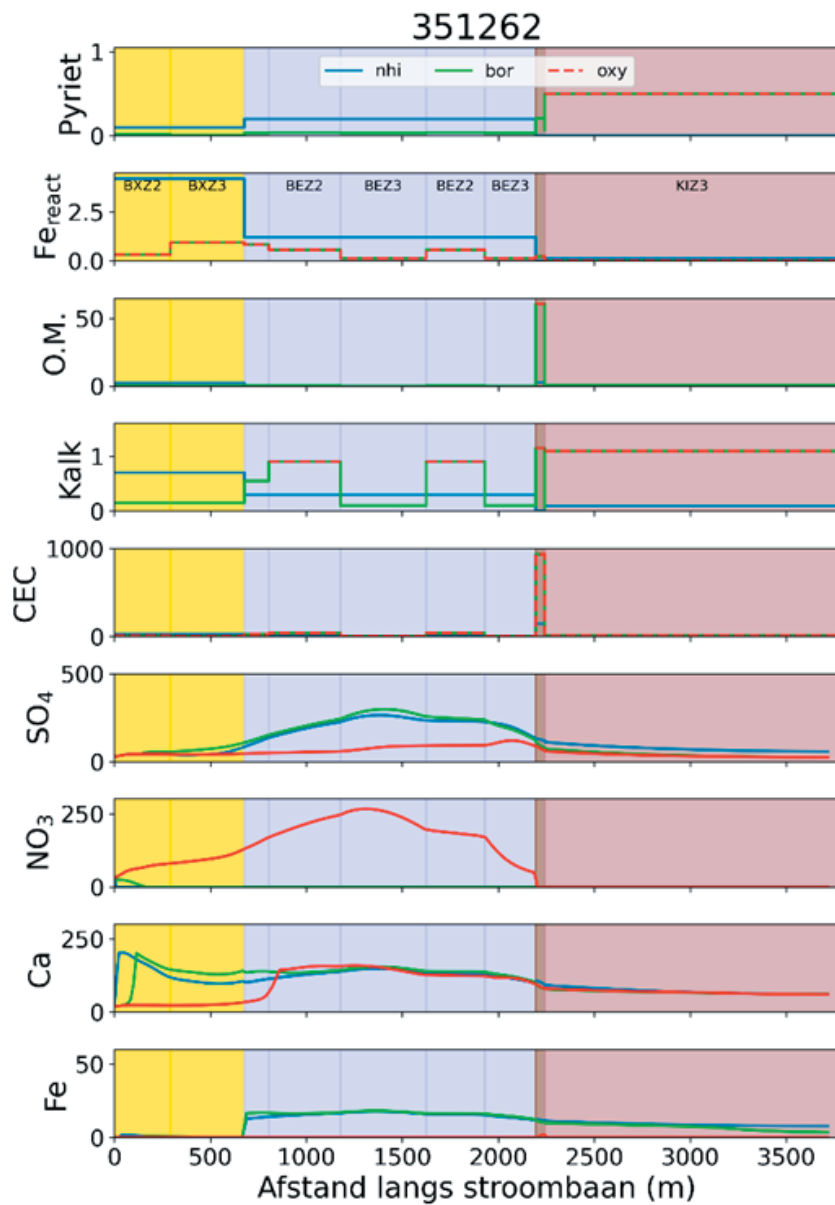
De verschillende modelparameterisaties hebben grote invloed op de voorspelde waterkwaliteitsontwikkelingen langs een stroombaan. Scenario 3) waarbij gebruik gemaakt wordt van de reactiviteit metingen met de micro-oxymax is het enige dat juist voorspelt dat het grondwater in de ondiepe formaties van Boxtel en Beegden nitraathoudend is. Het geochemisch buffervermogen voor oxiderende stoffen is in dit gebied geconcentreerd in relatief dunne (weerstandbiedende) lagen waarvan de verbreiding ook nog onzeker is. Het is daarom voor de samenstelling van het ruwwater belangrijk te weten welke geologische lagen de stroombanen doorsnijden en welke weerstandbiedende reactieve lagen juist niet worden doorstroomd. Als een stroombaan om de reactieve lagen heen stroomt in plaats van er doorheen, bijvoorbeeld als gevolg van doorboringen,

bestaat het risico dat nitraat houdend grondwater zonder verdere afbraak richting de winning zal stromen. Hierdoor lijkt de winning Grubbenvorst kwetsbaarder voor doorbraak van oxiderende stoffen dan op voorhand werd ingeschat.

Dit onderstreept dat het, voor een goed inzicht in de te verwachten ontwikkeling van de ruwwaterkwaliteit, belangrijk is om meer geochemische basisdata in te winnen en in samenhang te analyseren met waterkwaliteitsmetingen om zo meer inzicht te krijgen in de processen die bepalende zijn voor de toekomstige grondwaterkwaliteit.

### FIGUUR 7

Veranderingen van reactiviteit (pyriet, reactief ijzer (Fereact), organisch materiaal (O.M.) kalk, kationuitwisselcapaciteit (CEC)) en gemiddelde concentraties van SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, Ca en Fe langs een stroombaan richting pompstation Grubbenvorst op 31 december 2020. De kleuren van de vlakken geven de geohydrologische eenheden volgens REGIS II v2 weer. De berekeningen op basis van de respiratiemetingen (rood) wijken duidelijk af van de analyses op basis van bulk-geochemie (groen) en landelijke informatie (blauw).



### 2.3.2 Case study Woerden

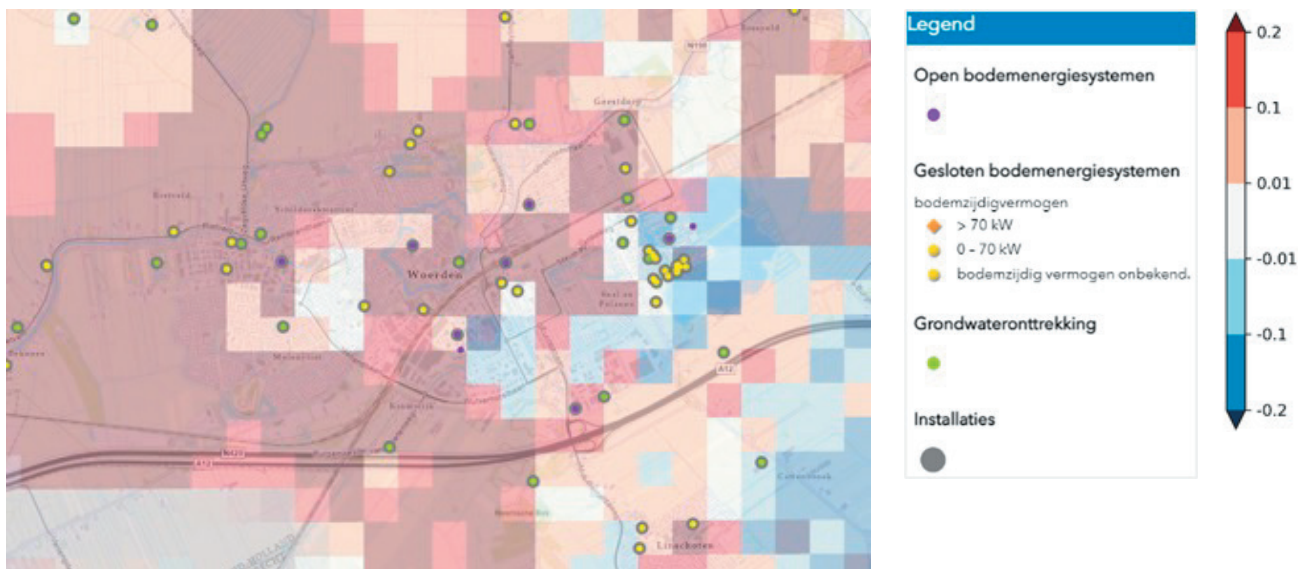
De aanleg van bodemenergiesystemen in Nederland levert een belangrijke bijdrage aan de energietransitie. In sommige gevallen kan dit echter een ongunstige invloed hebben op de kwaliteit van grondwater, namelijk in het geval er sprake is van bodem- of grondwaterverontreiniging. In dat geval is het wenselijk bij de locatiekeuze van bodemenergiesystemen rekening te houden met de aard en positie van de verontreiniging.

In Woerden wordt door Oasen grondwater onttrokken voor de drinkwaterwinning. Er spelen bovendien een aantal belangrijke ruimtelijke ontwikkelingen, waarbij de aanleg van bodemenergiesystemen relevant is in verband met de mogelijke invloed op de grondwaterkwaliteit. Het doel van het onderzoek gericht op de case study Woerden was om inzicht te krijgen in de invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen op de vergrijzing van het grondwater en na te gaan of beschermingskaarten voor doorboringen kunnen worden gebruikt om risico's voor vergrijzing van grondwater te verminderen.

Uit de studie bleek dat voor inzicht in de mogelijke verontreiniging van grondwater door de aanleg van bodemenergiesystemen de landelijk beschermingskaart voor doorboringen een handig hulpmiddel biedt op regionale schaal (bijvoorbeeld de schaal van een middelgrote Nederlandse gemeente). Deze beschermingskaart voor doorboringen geeft potentiële lekkagefluxen weer (zie ook par 2.3.1). Deze lekroute representeert de lekkage van het grondwater langs niet goed afgedichte buizen van bodemenergiesystemen. Ter illustratie is in **Figuur 8** een voorbeeld gegeven van de combinatie van de doorboringen die in Woerden hebben plaatsgevonden voor bodemenergiesystemen met de kaart van potentiële lekkagefluxen. In deze figuur is voor de deklaag de lekroute van het grondwater langs niet goed afgedichte buizen van bodemenergiesystemen gerepresenteerd door een extreem hoge k-waarde van 1000 m/dag (veel lekkage lang de buizen).

#### FIGUUR 8

Potentiële lekkageflux ( $m^3/d$ ) over de deklaag, met extreem hoge k-waarde van 1000 m/d gecombineerd met de locaties van open (paarse rondjes) en gesloten energiesystemen (gele rondjes) en grondwateronttrekkingen (groene rondjes) in Woerden en omgeving.



In een groot deel van Woerden zal dan een neerwaartse flux van de deklaag naar het onderliggende watervoerende pakket plaatsvinden. In dit gebied zijn meerdere bodemenergiesystemen en grondwateronttrekkingen gerealiseerd, waaronder een aantal systemen aan de rand van de VOCl-pluim. In het zuidoosten van de getoonde kaart zal de flux omgekeerd zijn, namelijk van het onderliggend watervoerende pakket naar het bovenliggende freatische pakket. Ook hier zijn volgens de huidige situatie bodemenergiesystemen gerealiseerd. Alhoewel een 'extreem slechte afdichting' van de boringen een uitzonderlijke situatie is, kan de beschermingskaart die hierop gebaseerd is worden gebruikt om meer of minder risicovolle locaties voor de aanleg van bodemenergiesystemen te identificeren vanuit het oogpunt van verspreiding van grondwaterverontreinigingen.

Om inzicht te krijgen in de meest extreme situatie werden bovendien een aantal hypothetische worst case scenario's doorerekend. Hierbij werd de aandacht gericht op VOCl's, omdat er een grote VOCl-verontreiniging in het grondwater van Woerden aanwezig is. Op basis van deze hypothetische worst case scenario's bleek dat de aanleg van open bodemenergiesystemen in geval van combinatie met de aanwezigheid van verontreiniging een substantiële invloed kan hebben op het oplossen van stoffen vanuit VOCl-zaklagen en de verspreiding in horizontale en verticale richting. Een eventueel risico in dit soort situaties kan gemitigeerd worden door optimale afsluiting van de boorputten en buizen, bodemenergiesystemen uit te rusten met (bovengrondse) zuivering of door de VOCl-zaklagen te verwijderen voorafgaand aan een boring.

Details bij het hanteren van de beschermingskaarten voor het identificeren van risico's voor de aanleg van bodemenergiesystemen en bij het oplossen van stoffen vanuit VOCl-zaklagen en de verspreiding van stoffen in horizontale en verticale richting bij verschillende scenario's voor de aanleg van bodemenergiesystemen zijn te ontleen aan Van Vliet *et al.* (2022).

## 2.4 RISICO'S VOOR TOENAME VERGRIJZING

Uit het voorgaande blijkt dat de grondwaterkwaliteit tot steeds grotere diepte wordt aangetast door menselijke invloeden. Deze aantasting betreft macro-ionen zoals meststoffen en zouten, en milieuvreemde (antropogene) stoffen. De aantasting heeft ook indirecte effecten, zoals bijvoorbeeld de stoffen die in de ondergrond door geochemische processen vrijkomen bij de afbraak van nitraat. Hierdoor slinkt de voorraad aan schoon grondwater, komen er ook steeds meer mengsels van verontreinigingen in het grondwater en worden de gebruiksfuncties van het grondwater beperkt.

De oorzaken van de vergrijzing komen op hoofdlijnen doordat er nog steeds emissies plaatsvinden die terecht komen op de bodem en/of direct in het grondwater en door de aan grondwaterstroming gerelateerde voortgaande verspreiding van verontreinigingen die in het verleden zijn opgetreden (historische verontreinigingen). Dit betreft ook de (vanuit het bodemsaneringsbeleid) toegestane verspreiding van stoffen uit historische bodemverontreinigingslocaties.

Zoals hiervoor beschreven zijn er natuurlijke barrières die verspreiding van verontreinigende stoffen naar het grondwater tegengaan of verminderen. In de onderhavige studie zijn deze ingedeeld in bodembioïologische bescherming, fysieke bescherming door scheiden lagen, en geochemische bescherming.

De risico's voor verdere vergrijzing kunnen toenemen door diverse maatschappelijke ontwikkelingen, zoals de aanleg van bodemenergiesystemen (open en gesloten systemen voor koude / warmte opslag in de ondergrond), toename van kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater en beregening om periodes van droogte te overbruggen, ondergrondse bouwactiviteiten, en de toename van het aantal nieuwe antropogene (opkomende) stoffen. Deze ontwikkelingen hebben niet alleen effecten op de emissies van stoffen naar het grondwater, maar ook op de verspreiding als genoemde natuurlijke barrières worden aangetast. Voor de mogelijke aantasting van deze barrières moet geconcludeerd worden dat de huidige kennis beperkt is.

**Tabel 2** geeft indicatief een kwalificatie van de risico's van menselijke ingrepen en emissies voor aantasting van de natuurlijke barrières. In het onderhavige onderzoek is de aanwezige kennis over deze risico's gebundeld ten aanzien van Bodemenergiesystemen, Geothermie en kunstmatige infiltratie.



**TABEL 2**

Indicatieve kwalificatie risico's menselijke ingrepen en emissies voor aantasting van de natuurlijke barrières die verder verspreiding van vergrijzing tegengaan of verminderen.

menselijke ingrepen / emissies:	bodembiologie	beschermende kleilagen	geochemische bescherming
WKO: open systemen <sup>1)</sup>	nvt	onbekend	verwaarloosbaar
WKO: gesloten systemen <sup>1)</sup>	nvt	potentieel beheersbaar	verwaarloosbaar
Geothermie <sup>2)</sup>	nvt	potentieel beheersbaar	verwaarloosbaar
actief infiltreren oppervlaktewater <sup>3)</sup>	verwaarloosbaar	nvt / beheersbaar bij diepinfiltratie	relevant
diffuse input opkomende stoffen	onbekend	nvt	verwaarloosbaar
diffuse input meststoffen	onbekend	nvt	dominant
diffuse input pesticiden	onbekend	nvt	verwaarloosbaar
Bodemverontreinigingslocaties <sup>4)</sup>	relevant	nvt	verwaarloosbaar

- [Deltafact Bodem Energie Systemen](#)
- [Deltafact Geothermie](#)
- [Deltafact kunstmatige infiltratie](#)
- Verspreiding vanuit bodemverontreinigingslocaties die vanuit de wet Milieubeheer is toegestaan

De risico's voor verdere vergrijzing door het toenemende aantal gesloten WKO-systemen zijn met name relevant voor de verspreiding van pesticiden, bekende en opkomende antropogene stoffen in gebieden waar grondwater voor drinkwater wordt gewonnen onder een beschermde kleilaag. Voor open WKO-systemen zijn deze risico's ook relevant, maar in mindere mate.

De risico's van geothermie zijn wat minder groot dan gesloten WKO-systemen, maar zijn er ook voor (spore)metalen en zouten (chloride, sulfaat, ammonium e.d).

Actieve infiltratie van oppervlaktewater zijn resulteert in relatief grotere risico's voor toename van de vergrijzing, met name voor bestrijdingsmiddelen, bekende en opkomende antropogene stoffen en zouten.

De diffuse belasting vanuit de landbouwgronden levert op grote schaal een voortdurende uitspoeling van nitraat en aan mest gerelateerde zouten en residuen van gewasbeschermingsmiddelen. Mogelijk zijn er ook risico's voor uitspoeling van diergeneesmiddelen of andere opkomende stoffen.

Op talrijke plaatsen is de bodem lokaal verontreinigd geraakt. Dit wordt aangeduid als bodemverontreinigingslocaties. De bodemverontreinigingslocaties waar het grondwater ernstig verontreinigd was, zijn weliswaar gesaneerd, maar er resteren geen kleine hoeveelheden in lage concentraties die zich vanuit die locaties zich verder naar het grondwater kunnen verspreiden. Zulke geringe verspreidingen in lage concentraties zijn vanuit het milieubeleid toegestaan. Omdat het veel relatief kleine puntbronnen zijn, zal het bijdragen aan een toename van het volume vergrijsd grondwater, met name voor milieuvreemde stoffen en zouten zoals ammonium en sulfaat, maar de risico's zijn waarschijnlijk kleiner dan de risico's van actieve infiltratie en gesloten wko-systemen.

## ▶▶ 3 OPKOMENDE STOFFEN IN GRONDWATER

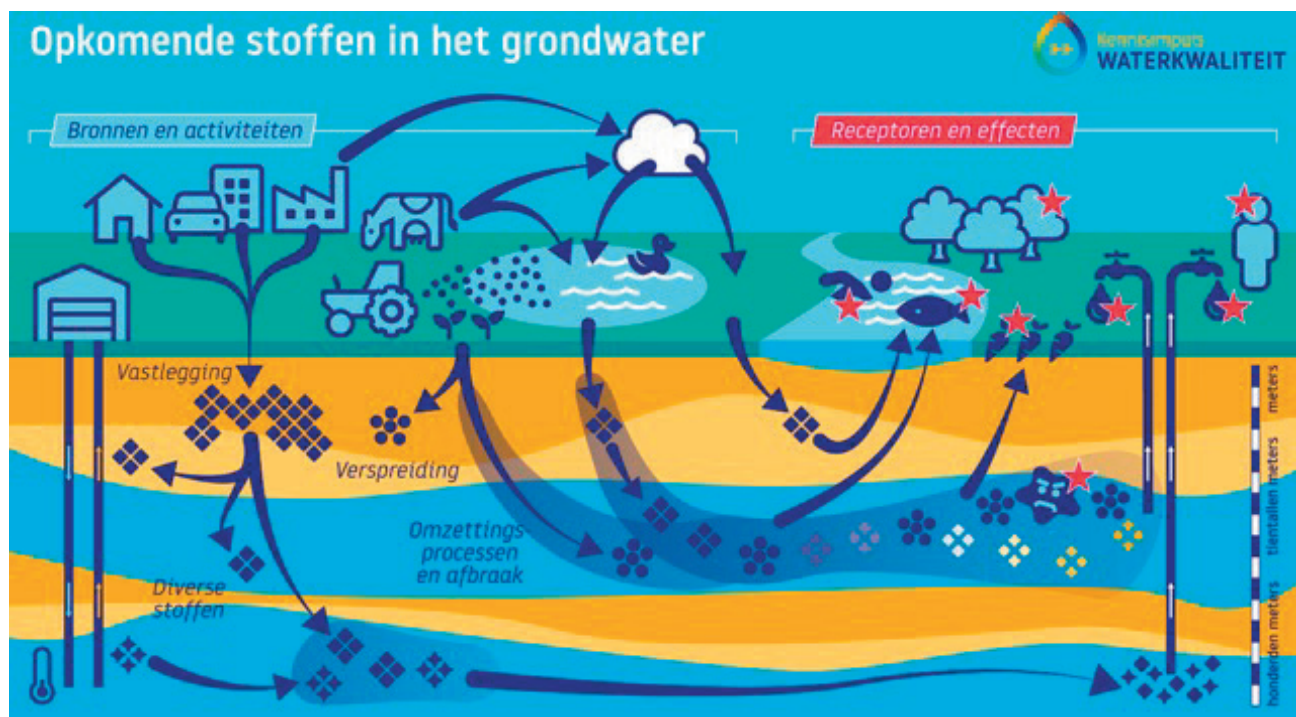
### 3.1 INLEIDING

Er is een toenemende zorg in de maatschappij over de nadelige effecten van zogenaamde opkomende stoffen als medicijnresten in het milieu. De Stuurgroep Water van 26 april 2015 heeft daarom besloten dat structurele aandacht voor opkomende stoffen noodzakelijk is. Dit heeft geleid tot de oprichting van de werkgroep Aanpak Opkomende Stoffen. Om ook te komen tot een aanpak van deze stoffen in het grondwater, is een themagroep grondwater in het leven geroepen. Binnen deze themagroep is in samenwerking met een aantal kennisinstituten een plan van aanpak opgesteld. Uitvoering van delen van dit plan van aanpak is ondergebracht in de kennisimpuls waterkwaliteit.

De eerste stap van het onderzoek is het bijeenbrengen van data van drinkwaterbedrijven en provincies over het aantreffen van opkomende stoffen in grondwater. Dit hoofdstuk gaat over de evaluatie van de database met opkomende stoffen in het Nederlandse grondwater gemeten door provincies en drinkwaterbedrijven. 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, antibiotica, 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 en de toxiciteit nog niet goed bekend, of ze zijn zelfs nog niet geïdentificeerd.

### FIGUUR 9

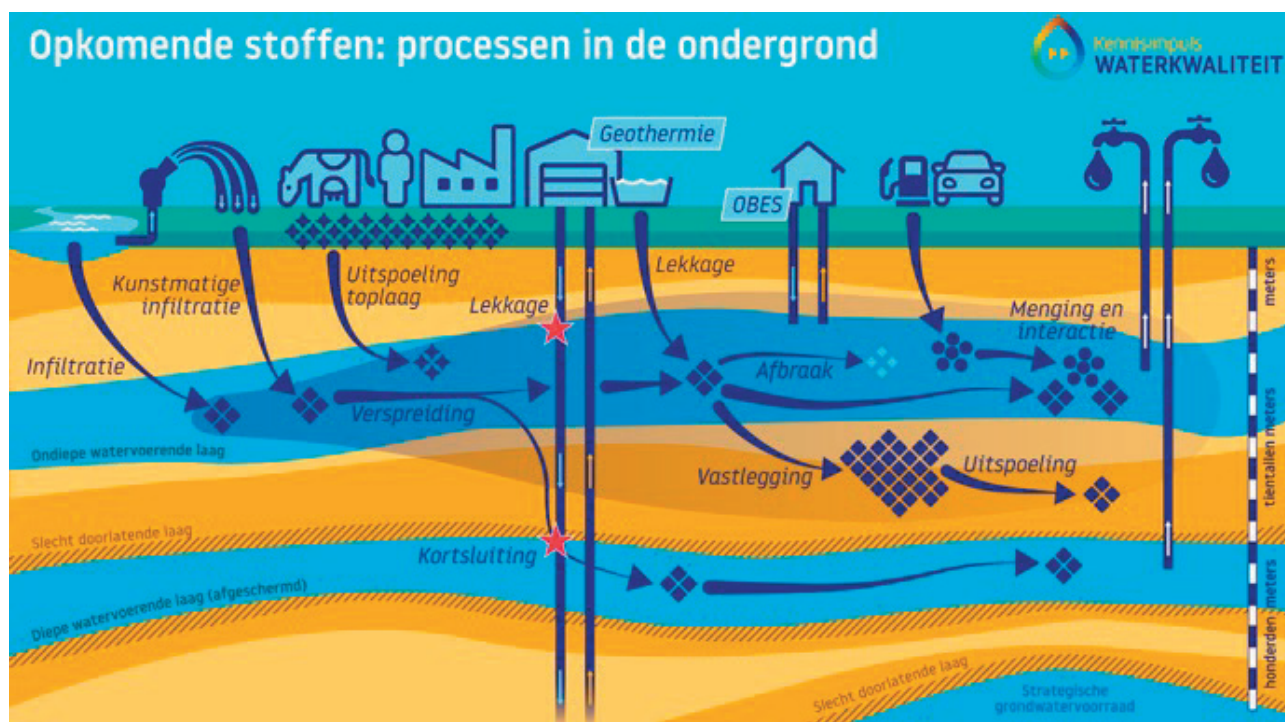
Infographic opkomende stoffen in grondwater. Opkomende stoffen komen vanuit diverse bronnen het grondwater in, gaan via verschillende paden in de ondergrond en hebben op diverse receptoren effecten. NB de weergave van bronnen, paden en effecten is niet uitputtend.



**Figuur 9** laat bronnen, paden en effecten van opkomende stoffen in het grondwater zien. Bronnen en activiteiten waarbij opkomende stoffen vrijkomen bevinden zich veelal aan maaiveld, zoals landbouw, industrie, verkeer. Via water en atmosferische depositie kunnen stoffen in de bodem en het grondwater terecht komen. Ook in de grond kunnen stoffen vrijkomen, zoals bij de winning van aardwarmte. Eenmaal in het grondwater verspreiden stoffen zich met het stromende grondwater. Doordat grondwater langzaam maar gestaag stroomt, en verontreinigingen vastgelegd kunnen worden doordat ze zich kunnen binden aan sediment, verspreiden ze zich erg langzaam. Slecht afbreekbare stoffen of afbraakproducten kunnen decennia of zelfs eeuwen in het grondwater aanwezig zijn en zich onder invloed van grondwaterstroming verspreiden. De processen in de ondergrond die invloed hebben op de opkomende stoffen in het grondwater zijn in de infographic in **Figuur 10** verder uitgewerkt. De belasting van het grondwater met opkomende stoffen kan langdurig ongewenste effecten hebben op het bodemleven. Wanneer het grondwater wordt opgepompt of het oppervlaktewater voedt, worden ook bovengrondse functies langdurig aan verontreinigingen blootgesteld. Doordat ter plaatse van de uitstroompunten grondwater met uiteenlopende ouderdom en herkomst mengt, zijn de concentraties weliswaar relatief laag, maar is vaker sprake van een mengsel van verontreinigingen. De risico's van mengseltoxiciteit zijn voor vee, voedselproductie, zwemwater en drinkwaterproductie nog grotendeels onbekend.

### FIGUUR 10

*Infographic Opkomende stoffen: processen in de ondergrond. NB de weergave van processen is niet uitputtend. Uitleg begrippen- OBES: Open bodemenergiesystemen. Kortsluiting: water kan door een beschadiging van een slecht doorlatende laag uitwisselen tussen watervoerende lagen. Lekkage: vloeistoffen en opgeloste stoffen kunnen door beschadiging of slijtage van leidingen en installaties in het grondwater terecht komen. Uitspoeling: ook wel uitloging genoemd, door passage van water worden stoffen die zijn vastgelegd in of aan de bodem meegenomen. Geothermie: aardwarmte. Infiltratie: water dat de ondergrond indringt. Kunstmatige infiltratie: door de mens opgewekte aanvulling van het grondwater. Vastlegging: stoffen blijven in of aan bodemdeeltjes vastzitten. Menging: stoffen uit verschillende bronnen komen nabij de uitstroompunten (bv een onttrekking of drainerend oppervlaktewater) samen, zodat concentraties door verdunning afnemen, maar tegelijkertijd nieuwe mengsels verontreinigingen worden gevormd. Interactie: bij zwaardere verontreiniging kunnen stoffen onderling reageren zodat verontreinigingen worden vastgelegd of nieuwe verontreinigingen ontstaan*



### 3.1.1 De database

Een database van opkomende stoffen in grondwater is samengesteld door het samenvoegen en structureren van data van zes drinkwaterbedrijven voor de periode 2009-2019 en van twee KRW-meetrondes (2015-2016 en 2017-2018/2019) van provincies. De resulterende database bevat gegevens voor een groot aantal stoffen die zijn geanalyseerd in waarnemingsputten, onttrekkingsputten en ruwwaterstrengen (verzameld onttrokken grondwater). Zie Bijlage 1 voor de beschrijving van het samenstellen en opschonen van de database ten behoeve van deze studie en een overzicht van de data in deze database.

### 3.1.2 Verrijken database

Naast het uniformeren en opschonen van de data is de data ook verrijkt met extra informatie. Op basis van de coördinaten en de diepte van de putten is extra informatie toegevoegd. Zo zijn er fysisch-geografische regio's (Figuur 11) toegekend per locatie en zijn missende maaiveldhoogtes aangevuld op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN).

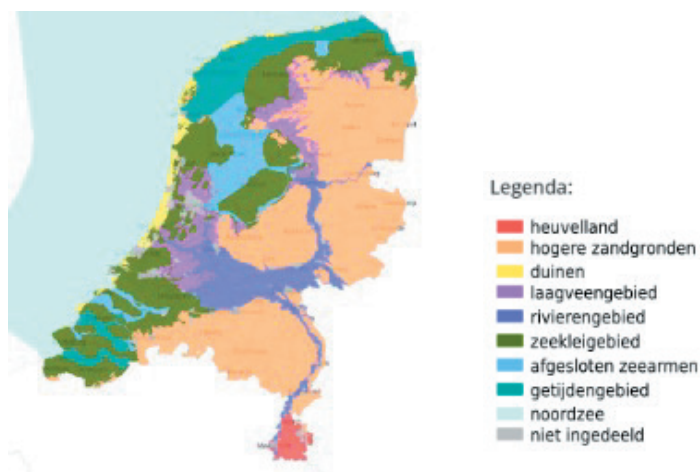
Op basis van de diepte van de putten zijn de locaties ingedeeld in diepteklassen. De diepteklassen zijn gemaakt door de gemiddelde diepte per put te berekenen en deze in percentielen te verdelen. Op deze manier zijn 4 diepteklassen gecreëerd:

- Ondiep, 0% - 25% ondiepste putten (tot 16m)
- Middel-diep, 25% - 50% ondiepste putten (tot 39m)
- Diep 50% - 75% diepste putten (tot 82m)
- Heel-diep 75% - 100% diepste putten (tot 1000m)

---

### Figuur 11

Fysisch-Geografische Regio's van Nederland (Bron:<https://nationaalgeoregister.nl/geonetwork/srv/dut/catalog.search#/metadata/c8b5668fc35442f3aafc-d15ae54cf170?tab=general>)



---

## 3.2 STOFFEN

Bij het nader bestuderen van de stoffen in deze database en eventuele patronen in de ruimte en in de tijd, hebben we gefocust op bepaalde stoffen en stofgroepen. We hebben gekeken naar stoffen waarvan in de literatuur meermaals is geconstateerd dat ze voorkomen in grondwater. En we hebben in het bijzonder gekeken naar de stofgroepen brandvertragers; geneesmiddelen; perfluorverbindingen; weekmakers en de groep niet ingedeelde stoffen (NA). Naast deze selectie hebben we de database gescand op opvallende stoffen en stofgroepen, waarbij gabapentine en de groep naftaleensulfonaten zijn toegevoegd aan de selectie. In deze studie zoomen we ook in op een deel van de database, waarbij we het gebied van de case study Woerden bekijken. MTBE is geselecteerd om mee te nemen in deze studie vanwege een mogelijke bron vanuit een tankstation en wegverkeer in het gebied van deze case study.

### 3.2.1 Geselecteerde stoffen voor deze studie

Voor een overzicht van opkomende stoffen in het grondwater in Nederland is literatuur van uitgevoerde onderzoeken vanaf 2015 doorgenomen. Hierbij zijn de bronnen gebruikt die zijn beschreven in de Deltafact Opkomende stoffen in grondwater (Van den Meiracker et al, 2021), waarbij per onderzoek de meest voorkomende stoffen zijn verzameld (Pieke et al., 2020; Verhagen et al., 2018; Verhagen et al., 2020; Sjerps et al, 2017; Lahr et al., 2018; Kivits et al, 2018; Van Loon et al., 2020; Van Driezum et al., 2020). Het volledige overzicht van meest voorkomende opkomende stoffen in het Nederlandse grondwater vanuit de literatuur is weergegeven in [Bijlage 2](#). Per stof staat aangegeven in hoeveel verschillende onderzoeken de stof is waargenomen en om welke onderzoeken het gaat. Vanuit dit overzicht zijn de stoffen die in twee of meer bronnen zijn waargenomen weergegeven in [Tabel 3](#). In de kolom Aantal bronnen is weergegeven in hoeveel afzonderlijke onderzoeken een stof is aangetroffen in het Nederlandse grondwater. Daarbij moet de kanttekening gemaakt worden dat stoffen waar niet of minder vaak op gezocht/geanalyseerd wordt ook niet of minder vaak worden aangetroffen. En er zit mogelijk overlap in de gebruikte databases waardoor bepaalde stoffen in meerdere studies kunnen voorkomen. Het overzicht van stoffen in [Tabel 3](#) is met name gebruikt om te controleren of deze stoffen ook in de database worden aangetroffen. Zo kan het beeld dat deze stoffen in het Nederlandse grondwater voorkomen verder onderzocht worden.

**TABEL 3**

*Overzicht vaak aangetroffen opkomende stoffen in grondwater in Nederland.*

Stof	CAS	Aantal bronnen
Bisfenol A	80-05-7	5
Carbamazepine	298-46-4	5
Ethyleendiaminetetra-azijnzuur (EDTA)	60-00-4	4
Paracetamol	103-90-2	4
Perfluorooctaanzuur (PFOA)	335-67-1	4
Sulfamethazine/sulfadimidine	57-68-1	4
1,2,3-Benzotriazool	95-14-7	3
17- $\beta$ -estradiol	50-28-2	2
Fenazon	60-80-0	2
Lidocaine	137-58-6	2
Trichloorpropylfosfaat (TCPP)	13674-84-5	2

De top-zes meest voorkomende opkomende stoffen ([Tabel 3](#)) zijn geselecteerd om in deze studie nader bekeken te worden. Deze bestaat uit bisfenol-A, carbamazepine, EDTA, paracetamol, PFOA en sulfamethazine/sulfadimidine. Bisfenol-A is een industriële stof die met name wordt gebruikt in verschillende typen hard plastic. Carbamazepine, paracetamol en sulfamethazine (synoniem sulfadimidine) zijn geneesmiddelen. Carbamazepine wordt gebruikt als anti-epilepticum, paracetamol als pijnstillers en sulfamethazine wordt gebruikt in antibacteriële middelen (met name als diergeneesmiddel). EDTA is een complexvormer gebruikt in verschillende toepassingen, zoals in voeding, verzorgingsproducten en industrie. PFOA is een PFAS-verbinding en wordt gebruikt in smeermiddelen, voedselverpakkingsmaterialen, blusschuim, anti-aanbaklagen van pannen, textiel en cosmetica.

Naast deze selectie van stoffen zijn ook gabapentine, MTBE, naftaleensulfonaten en perfluorverbindingen gekozen om nader te bekijken. Gabapentine is een geneesmiddel dat gebruikt wordt tegen o.a. epilepsie en zenuwpijn. MTBE (methyl-tert-butylether) werd in Nederland eerst geproduceerd als bijproduct in de petrochemische industrie, daarna o.a. als loodvervanger in benzine. Naftaleensulfonaten worden gebruikt in industriële producten, zoals cement, weekmakers en kleurstoffen (Lange et al., 2000). Perfluorverbindingen worden in allerlei verschillende toepassingen gebruikt, zoals in van cosmetica, huishoudmiddelen, kookgerei, verpakkingsmateriaal en textiel.

### 3.2.2 Risico's opkomende stoffen in Nederlands grondwater

Hierboven zijn opkomende stoffen besproken die geregeld werden aangetroffen in Nederlands grondwater en/of opvallen vanuit eerdere onderzoeken en deze studie. Om de ernst van de aanwezigheid van deze stoffen in het Nederlandse grondwater in te kunnen schatten, worden in deze paragraaf, voor zover bekend, de mogelijke risico's van deze stoffen besproken. In [Tabel 4](#) is aangegeven of de stof een (potentiële) zeer zorgwekkende stof ((p)ZZS) is en of de stof is beoordeeld als carcinogeen (kankerverwekkend), mutageen (veranderingen in erfelijke eigenschappen inducerend) en/of reprotoxisch (schadelijk voor de voortplanting of het nageslacht). Stoffen die één of meerdere van deze eigenschappen hebben worden CMR-stoffen genoemd. Verder zijn in [Tabel 4](#) de corresponderende normen voor grond- en drinkwater opgenomen. De normen voor grondwater in [Tabel 4](#) zijn afkomstig uit [www.rvs.rivm.nl](http://www.rvs.rivm.nl). Voor de volgende farmaceutica zijn geen normen voor grondwater voorhanden (status 18 maart 2022): paracetamol, sulfamethazine/sulfadimidine, fenazon en lidocaine.

Zoals omschreven op [www.rvs.rivm.nl](http://www.rvs.rivm.nl), zijn ZZS gevaarlijk voor mens en milieu, omdat ze bijvoorbeeld de voortplanting belemmeren of kankerverwekkend zijn. Potentiële ZZS zijn stoffen die mogelijk voldoen aan de ZZS-criteria, maar nog niet als ZZS zijn ingedeeld. Dit kan zijn omdat bepaalde gegevens ontbreken, of omdat de evaluatie van de beschikbare gegevens nog moet plaatsvinden. De ZZS-criteria zijn gebaseerd op artikel 57 van de REACH Verordening (EG) 1907/2006. Van de hierboven besproken geselecteerde opkomende stoffen in grondwater zijn de volgende stoffen beoordeeld als (potentieel) ZZS: bisphenol A, PFOA, 1,2,3-benzotriazool, TCPP, 2-methylnaftaleen en MTBE.

De indeling van stoffen als CMR is wettelijk bepaald of wordt gedaan door de producent of importeur van een stof, of door wetenschappelijke comités. CMR-stoffen staan vermeld in Annex VI van de CLP Verordening (EG) 1272/2008 (sinds 4 oktober 2018 (EU) 2018/1480). De indeling in Annex VI is wettelijk bindend. Verder publiceert het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) ieder halfjaar een lijst met CMR-stoffen. Deze lijst bevat de CMR-stoffen van Annex VI van de CLP Verordening en aanvullende, relevante stoffen, gebaseerd op een beoordeling door de Gezondheidsraad. Als een stof wordt aangemerkt als CMR-stof, gelden beperkingen bij productie, opslag, transport en toepassing. Van de besproken opkomende stoffen in grondwater zijn de volgende stoffen ingedeeld als CMR-stof: bisfenol A, PFOA, 1,2,3-benzotriazool, 17- $\beta$ -estradiol en gabapentine.

Streefwaarden, zoals opgenomen in de Circulaire bodemsanering 2013, zijn gebaseerd op het verwaarloosbare risico (VR) voor het ecosysteem en geven het ijkpunt aan voor de milieukwaliteit op de lange termijn. In [Tabel 4](#) is een streefwaarde voor grondwater opgenomen voor EDTA. Deze streefwaarde voor grondwater wordt overschreden in één of meer grondwatermonsters, met een maximaal gemeten concentratie van 7373  $\mu\text{g/l}$ . Voor geen van de stoffen in [Tabel 4](#) is er een interventiewaarde voor grondwater. Voor MTBE is er wel een indicatief niveau voor ernstige verontreiniging (INEB) [Circulaire bodemsanering 2013](#)) van 7400  $\mu\text{g/l}$ . Een INEB wordt in plaats van een interventiewaarde opgenomen in de Circulaire als 1. er geen gestandaardiseerde meet- en analysevoorschriften beschikbaar of binnenkort te verwachten zijn; en/of 2. de ecotoxicologische onderbouwing van de interventiewaarde niet aanwezig of minimaal is en het erop lijkt dat de ecotoxicologische effecten kritischer zijn dan de humaan-toxicologische effecten. De INEB voor MTBE wordt niet overschreden.

Er is een aantal typen kwaliteitseisen in het Drinkwaterbesluit opgenomen (Drinkwaterbesluit, 2022), die gelden voor reinwater (water voordat het de leiding ingaat naar de kraan):

- Chemische stoffen (tabel II van het Drinkwaterbesluit). De waarden variëren per stof. Voor deze contaminanten kan de toezichthouder op verzoek van de eigenaar van een drinkwaterbedrijf onder voorwaarden ontheffing verlenen voor afwijking van een in de tabel gegeven waarde ('kortdurende overschrijdingen zonder nadelige gevolgen'; § 3.1.7. Ontheffing, artikel 29).
- Indicatoren - Organoleptische/esthetische parameters (tabel IIIb van het Drinkwaterbesluit). Ook deze waarden verschillen per stof.
- Indicatoren - Signaleringsparameters (tabel IIIc van het Drinkwaterbesluit). De waarde is 1  $\mu\text{g/L}$ . Deze kwaliteitseisen zijn bedoeld voor het signaleren van mogelijke verontreinigingen. Wanneer de aangegeven waarde wordt overschreden is er niet direct sprake van een risico voor de volksgezondheid, maar zal er nader onderzoek plaats vinden. De signaleringsparameter zijn bedoeld voor het signaleren van mogelijke verontreinigingen. De waarden zijn niet gerelateerd

aan risico's en worden relatief vaak overschreden in grondwater. Ze zijn in de praktijk vooral van belang voor oppervlaktewater-bronnen voor drinkwaterbereiding, maar kunnen ook op grondwater worden toegepast. Deze tabel bevat ook een categorie 'overige antropogene stoffen'.

Daarnaast zijn er signaleringswaarden uit het protocol voor monitoring en toetsing drinkwaterbronnen KRW, die worden toegepast bij de toetsing van grondwater. Dit protocol geeft specifiek uitwerking aan de wijze waarop de monitoring en toetsing van drinkwaterbronnen dient plaats te vinden in het kader van het Besluit kwaliteitsdoelstellingen en monitoring water 2009 (Bkmw 2009). Er wordt onderscheid gemaakt in stoffen die nu al een probleem vormen bij meerdere winningen en waarvoor drinkwaternormen zijn afgeleid in het Drinkwaterbesluit en stofgroepen die dienen als signalering van nieuwe opkomende stoffen of risico's. Geen van de stoffen uit [Tabel 4](#) vallen onder de stoffen die nu al een probleem vormen bij meerdere winningen en waarvoor drinkwaternormen zijn afgeleid in het Drinkwaterbesluit. De stoffen uit [Tabel 4](#) zijn ook niet specifiek genoemd in de lijst met signaleringswaarden voor nieuwe, opkomende stoffen in grondwater ([bijlage 3](#) van het protocol voor monitoring en toetsing drinkwaterbronnen KRW). Omdat er ook een categorie 'overige antropogene stoffen' is, met een signaleringswaarde van 0,1 µg/L, geldt deze waarde als signaleringsparameter voor alle stoffen uit [Tabel 4](#). De signaleringswaarden zijn geen milieukwaliteitseisen die de waterbeheerder juridisch verplichten tot het nemen van maatregelen om de vereiste waterkwaliteit te verwezenlijken. Het zijn hulpmiddelen om de kwaliteitsontwikkeling van de drinkwaterbronnen te kunnen toetsen. De waarde van 0,1 µg/L wordt voor alle in [Tabel 4](#) genoemde stoffen overschreden. Als de signaleringswaarde wordt overschreden in het grondwater moet worden beoordeeld of er mogelijk sprake is van gezondheidsrisico's via de consumptie van drinkwater. Voor deze gezondheidskundige risicobeoordeling leidt het RIVM een drinkwaterrichtwaarde af. Drinkwaterrichtwaarden zijn geen wettelijke kwaliteitseisen maar gezondheidskundig onderbouwde veilige risicogrenzen voor individuele stoffen. Er zijn gedegen (bij voldoende gegevens) en indicatieve (bij beperkte gegevens) richtwaarden. De methode hiervoor wordt beschreven in Van der Aa *et al.* (2017). Wanneer een drinkwaterrichtwaarde de procedure normstelling heeft doorlopen en is vastgesteld door de Stuurgroep Normstelling, is sprake van een zogenaamde beleidsmatige norm. Deze beleidsmatig vastgestelde drinkwaterrichtwaarden worden gepubliceerd op de risico van stoffen site (RIVM, 2022). Inmiddels zijn er voor enkele tientallen stoffen indicatieve drinkwaterrichtwaarden afgeleid. In [Tabel 4](#) zijn de relevante drinkwaterkwaliteitseisen opgenomen. De volgende stoffen overschreden in één of meerdere grondwatermonsters deze drinkwaterrichtwaarden of kwaliteitseisen voor drinkwater: carbamazepine, EDTA en PFOA. Dit betekent dat het grondwater niet zonder extra zuivering geschikt is als drinkwater. Voor de overige stoffen wordt dus de signaleringswaarde van 0,1 µg/L overschreden en moet derhalve nader onderzoek worden verricht naar de gezondheidsrisico's via de consumptie van drinkwater.

In het RIVM-rapport 'Staat drinkwaterbronnen' ([van Driezum \*et al.\*, 2020](#)) werden bisfenol-A, carbamazepine en fenazon ook genoemd in de top 10 van meest aangetroffen opkomende stoffen in grondwaterwinningen in concentraties die de signaleringswaarde overschrijden.

Voor een aantal van de farmaceutica waarvoor geen informatie op [www.rvs.rivm.nl](http://www.rvs.rivm.nl) voorhanden was, zijn wel al eerder humaan toxicologische risicogrenzen voor drinkwater afgeleid, namelijk voor paracetamol (150 µg/L) en fenazon (125 µg/L) ([Versteegh \*et al.\*, 2003](#) en [Versteegh \*et al.\*, 2007](#)). De gemeten concentraties in de grondwatermonsters liggen ver onder deze risicogrenzen. Deze stoffen vormen dus geen humaan risico als het grondwater wordt gebruikt voor de productie van drinkwater. Voor 17-β-estradiol, trichloorpropylfosfaat (TCPP), sulfamethazine/sulfadimidine, en fenazon (antipyrene) wordt de signaleringswaarde voor drinkwater (1 µg/L) overschreden. Daarom zou een risicobeoordeling raadzaam zijn.

**TABEL 4**

Overzicht risico's van een aantal opkomende stoffen in Nederlands grondwater met informatie van [www.rvs.rivm.nl](http://www.rvs.rivm.nl). (p)ZZS = (potentiële) Zeer Zorgwekkende stof, CMR = gevaarsindeling voor kankerverwekkende, mutagene (genetische verandering veroorzakende) en/of reproductietoxische (giftig voor de voortplanting) stoffen, CLP = gevaarsindeling, etikettering en verpakking (CLP) Verordening (EG) 1272/2008, SZW = ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW), - = niet ingedeeld als (p)ZZS of CMR, x = geen informatie op [www.rvs.rivm.nl](http://www.rvs.rivm.nl)

Stof	CAS	(p)ZZS	CMR	Mediane concentratie (min - max) (µg/L) <sup>4</sup>	Streef-waarde (µg/L)	Indicatief niveau voor ernstige bodem-verontreiniging (µg/L)	Drinkwaterkwaliteitseis (µg/L)
Bisfenol A	80-05-7	ZZS	CMR (CLP & SZW)	0,042 (0,005 - 23)	x	x	1,0 (signaleringsparameter)/ 0,1 (signaleringswaarde)
Carbamazepine	298-46-4	-	-	0,042 (0,005 - 0.59)	x	x	50 (drinkwaterrichtwaarde)
Ethyleendiaminetetra-azijnzuur (EDTA)	60-00-4	-	-	3,77 (0 - 7373)	22	x	600 (drinkwaterrichtwaarde)
Perfluorocetaanzuur (PFOA)	335-67-1	ZZS	CMR (CLP & SZW)	0,03 (0.001 - 260)	x	x	0,0875*1 (drinkwaterrichtwaarde)
1,2,3-Benzotriazool	95-14-7	pZZS	CMR (SZW)	0,04 (0 - 2,3)	x	x	700 (drinkwaterrichtwaarde)
17-β-estradiol	50-28-2	-	CMR (SZW)	0,0074 (0,0000360 - 2,4)	x	x	1,0 (signaleringsparameter)/ 0,1 (signaleringswaarde)
Trichloorpropylfosfaat (TCPP)	13674-84-5	pZZS	x	0,195 (0,05 - 16)	x	x	1,0 (signaleringsparameter)
Naftaleen-1,3,6-trisulfonaat	19437-42-4	-	-	0,78 (0,021 - 10)	x	x	700 (drinkwaterrichtwaarde)
2-Methylnaftaleen	91-57-6	ZZS	-	0,5 (0,5 - 0,5)	x	x	0,103 (drinkwaterkwaliteitseis chemische stoffen)
Methyl-tert-butylether (MTBE) <sup>6</sup>	1634-04-4	pZZS	-	0,05 (0 - 39)	x	9400	9420 (drinkwaterrichtwaarde)
Gabapentine	60142-96-3	-	CMR <sup>2</sup>	0,01 (0 - 5,61)	x	x	100 (drinkwaterrichtwaarde)
Paracetamol	103-90-2	x	x	0,01 (0 - 0,641)	x	x	1,0 (signaleringsparameter)/ 0,1 (signaleringswaarde)
Sulfamethazine/sulfadimidine	57-68-1	x	x	0,05 (0 - 1,6)	x	x	1,0 (signaleringsparameter)/ 0,1 (signaleringswaarde)
Fenazon (antipyrene)	60-80-0	x	x	0,01 (0 - 1,2)	x	x	1,0 (signaleringsparameter)/ 0,1 (signaleringswaarde)
Lidocaine	137-58-6	x	x	0,01 (0 - 0,17)	x	x	1,0 (signaleringsparameter)/ 0,1 (signaleringswaarde)

1 Onder discussie, zie [van der Aa et al. \(2021\)](#)

2 [CMR volgens zelfclassificatie](#)

3 Valt onder de polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs), dus geldt een drinkwaterkwaliteitseis van 0,10 µg/L. De mediaan, min en max zijn berekend op basis van alleen metingen boven de rapportagegrens

6 Indicatief niveau voor ernstige bodemverontreiniging voor MTBE is 9400 µg/L ([Circulaire bodemsanering 2013](#))

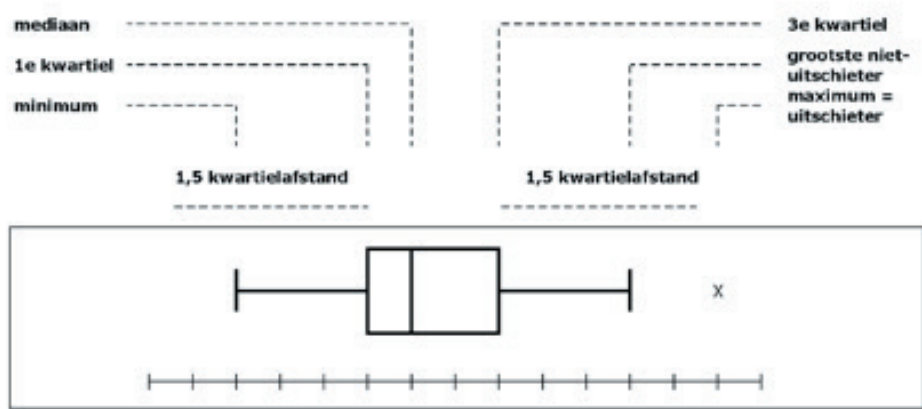


### 3.3 RESULTATEN DATABASE

Om een beeld te krijgen van de database, worden allereerst alle metingen in de database tegelijk getoond, en vervolgens per stofgroep. Daarna worden geselecteerde stoffen getoond. Hierbij worden de metingen in kaarten en met boxplots (zie visuele uitleg in [Figuur 12](#)) in tabellen weergegeven.

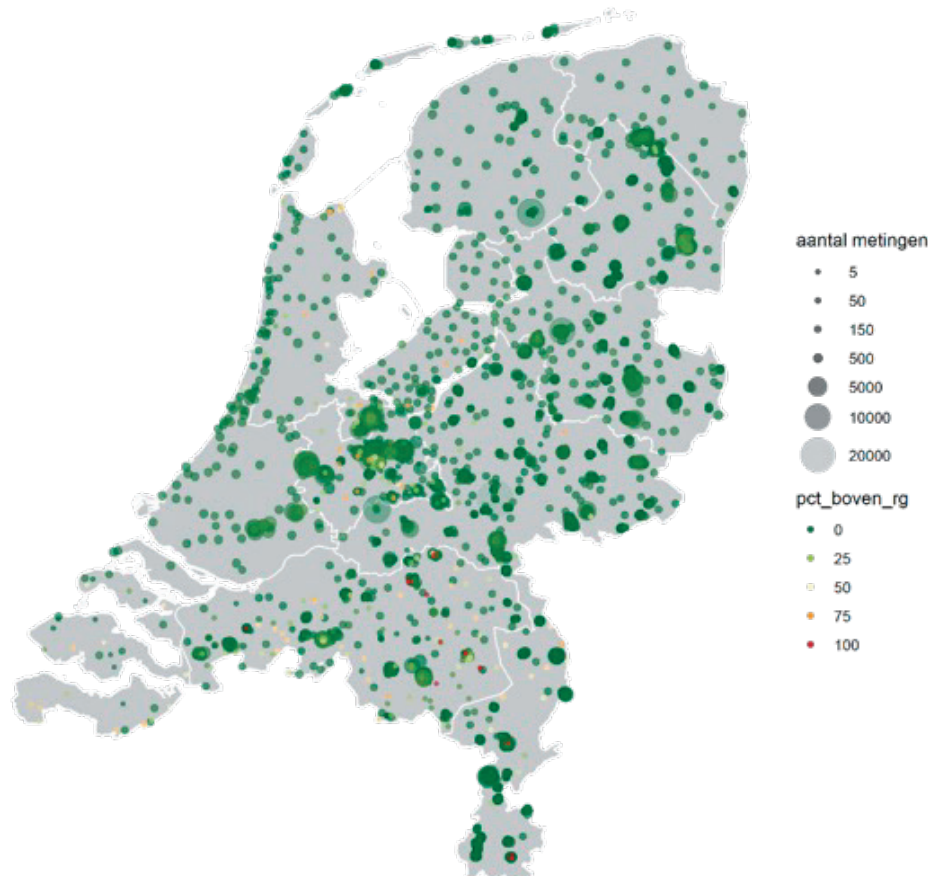
**FIGUUR 12**

Visuele uitleg boxplots.



**FIGUUR 13**

Geografische spreiding metingen. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn. 'aantal metingen' geeft de totale hoeveelheid metingen per locatie weer, en 'pct\_boven\_rg' is het percentage van de metingen per meetpunt boven de rapportagegrens.



In de kaarten zijn de data waar de metadata compleet is, zoals beschreven in hoofdstuk 3, weergegeven. In de figuren waar de fysisch-geografische eenheden en diepteintervallen zijn weergegeven zijn de data uit de database meegenomen indien de metadata compleet is zoals beschreven in hoofdstuk 3. Voor de figuren over de variatie van het aantal metingen in de tijd, zijn ook de data meegenomen die geen complete metadata (xy-coördinaten en diepte) hebben zoals beschreven in hoofdstuk 3. Voor de waarden die aangegeven zijn in de legenda ´s bij de kaartjes geeft 0 de waarde 0 weer, en de daaropvolgende cijfers geven de bovengrens van de range weer, bijvoorbeeld in de serie 0; 25; 50, geeft ´25´ de range van 0 tot 25 weer, en geeft ´50´ de range van 25 tot 50 weer.

### 3.3.1 Database in zijn geheel

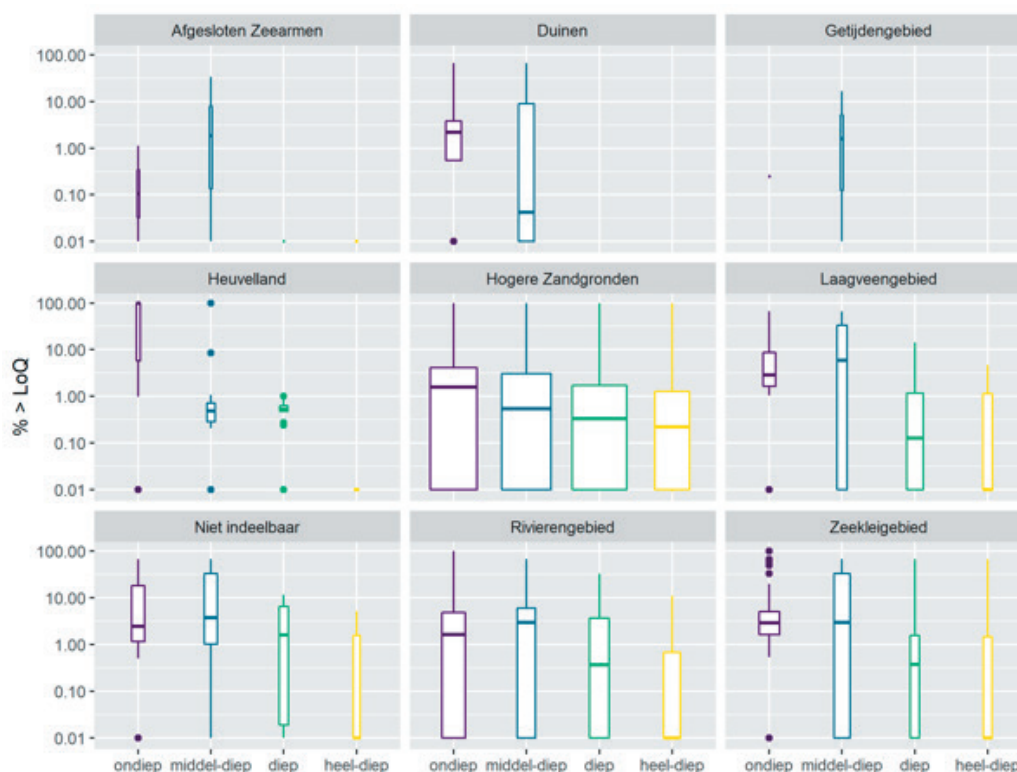
#### 3.4.1.1 Geografische spreiding en diepte-intervallen in de database in zijn geheel

In **Figuur 13** is de geografische spreiding van de metingen over Nederland uit de hele database weergegeven. De metingen in de database komen vanuit alle provincies en van de drinkwaterbedrijven waar grondwater een belangrijke bron is. Daardoor bevat de database in het oosten van het land beduidend meer metingen dan in het westen.

**Figuur 14** geeft het percentage van de metingen boven de rapportagegrens weer per diepteinterval en per fysisch-geografische eenheid, waarbij de breedte van de boxplots proportioneel is met de wortel ( $\sqrt{\cdot}$ ) van het aantal metingen dat in een zone gedaan is. Een kort voorbeeld ter illustratie, als er 4 metingen zijn in een bepaalde groep krijgt deze een breedte van 2 toegekend, als er in een andere groep 16 metingen zijn krijgt deze een breedte van 4 toegekend. Het verschil is op de wortelschaal dan een factor 2 in plaats van 4, dit is zo gedaan om de figuren passend te houden binnen de kaders. In deze figuur is een log-schaal voor de y-as gekozen waardoor het onmogelijk is om 0 te weer te geven. Dit is hier opgelost door 0 te vervangen door 0,01, wat een arbitraire keuze is. Dit geldt ook voor andere figuren met een log-schaal en het percentage boven de rapportagegrens op de y-as.

### FIGUUR 14

*Het percentage per meetpunt van de metingen boven rapportagegrens ingedeeld naar fysische geografische regio en diepte klassen. De breedte van de boxplots zijn proportioneel naar het aantal metingen. Smalste box: 1 meting, breedste box: 23643 metingen. 0.01 betekent 0% boven de rapportagegrens. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn.*



Uit **Figuur 15** blijkt dat veruit de meeste metingen van de hoge zandgronden afkomstig zijn. In de diepteklasse middeldiep is het percentage boven de rapportagegrens voor de meeste regio's het hoogst. Over het algemeen nemen de percentages boven de rapportagegrens af met de diepte vanaf middeldiep.

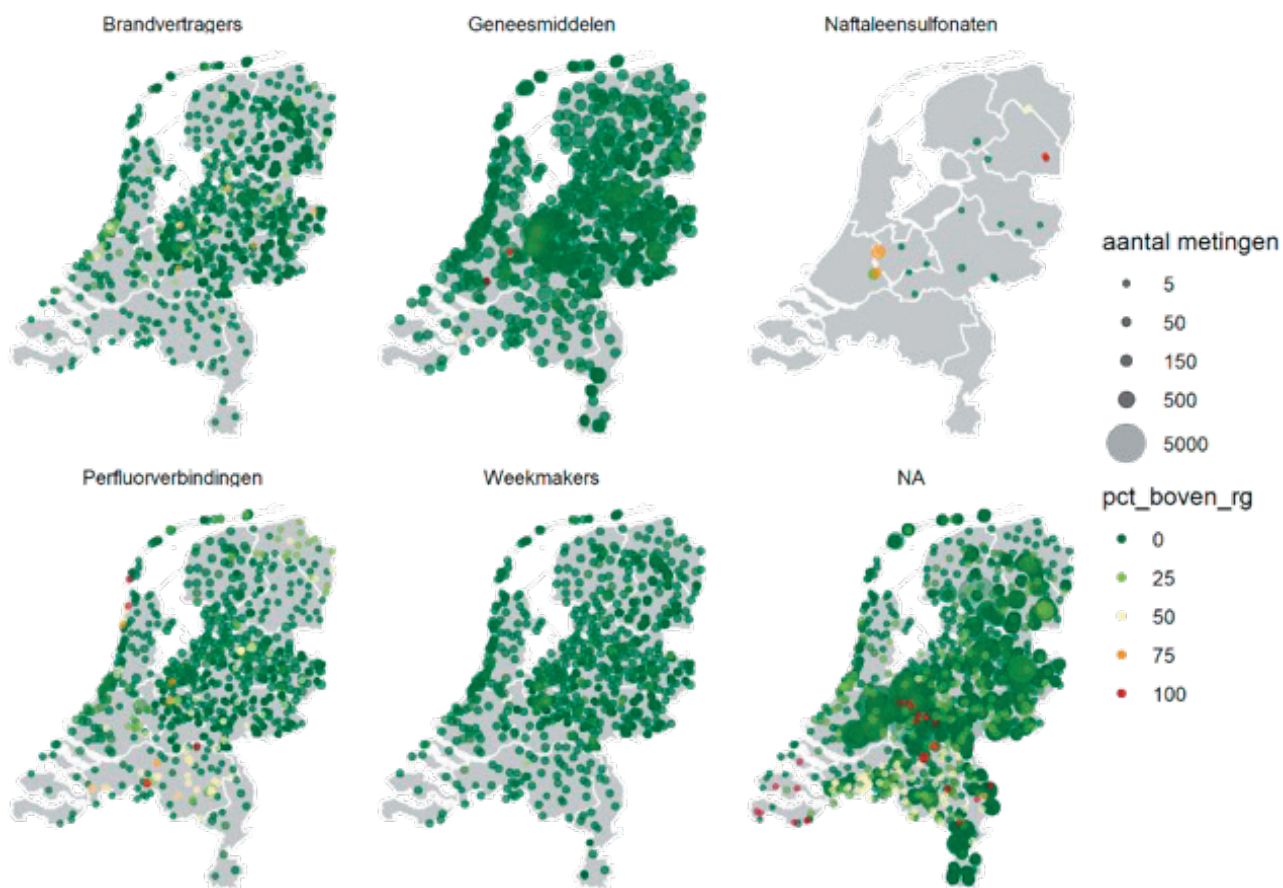
### 3.3.2 Per stofgroep

#### 3.4.2.1 Geografische spreiding en diepte-intervallen per stofgroep

In **Figuur 15** is de geografische spreiding van de metingen voor verschillende stofgroepen weergegeven. De meeste metingen per locatie zitten in de groepen geneesmiddelen en in de groep waar nog geen stofgroep aan toegekend is (NA, Not Applicable).

#### FIGUUR 15

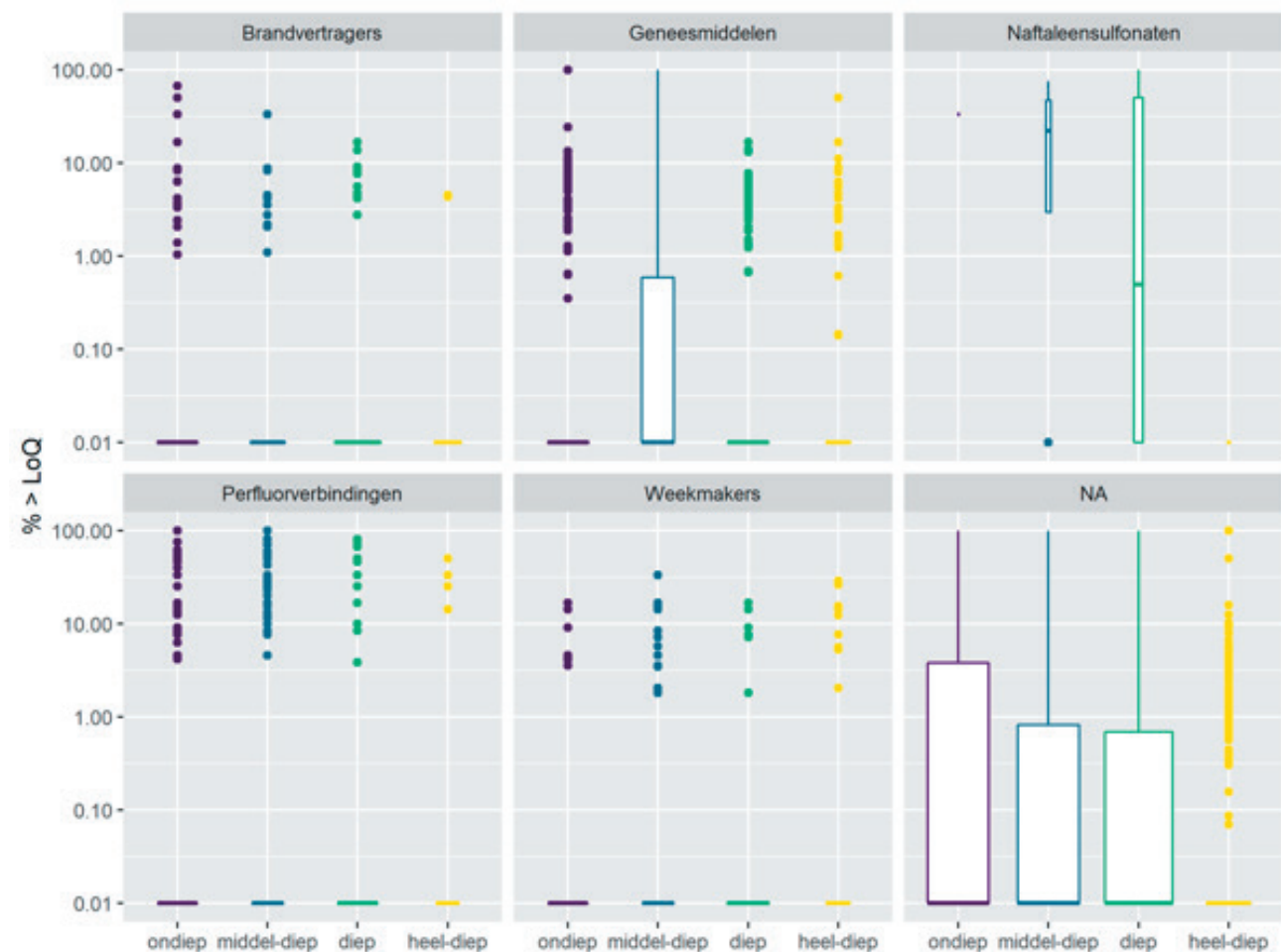
Geografische verspreiding van het aantal metingen (geanalyseerde parameter en percentage metingen boven de rapportagegrens opgesplitst naar een aantal stofgroepen. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn. 'aantal metingen' geeft de totale hoeveelheid metingen per locatie weer, en 'pct\_boven\_rg' is het percentage van de metingen per meetpunt boven de rapportagegrens



Figuur 16 geeft het percentage per meetpunt van de metingen boven de rapportagegrens in stofgroepen weer per diepte interval, waarbij de breedte van de boxplots proportioneel is met het aantal metingen dat in een zone gedaan is. Opvallend is het relatief hoge percentage metingen voor geneesmiddelen boven de rapportagegrens in het interval middeldiep. Belangrijk aandachtspunt is dat er in de ondiepe zone ook minder gemeten wordt, dat komt door het feit dat provincies ondieper en minder volledig meten dan drinkwaterbedrijven. De percentages metingen boven de rapportagegrens nemen af met de diepte voor stofgroep NA. In de intervallen middeldiep en diep zijn veel metingen van naftaleensulfonaten boven de rapportagegrens. Naftaleensulfonaten zitten niet in de provinciedata, daarom is het beeld beperkt tot de gebieden en dieptes waar de toeleverende drinkwaterbedrijven data hebben.

### FIGUUR 16

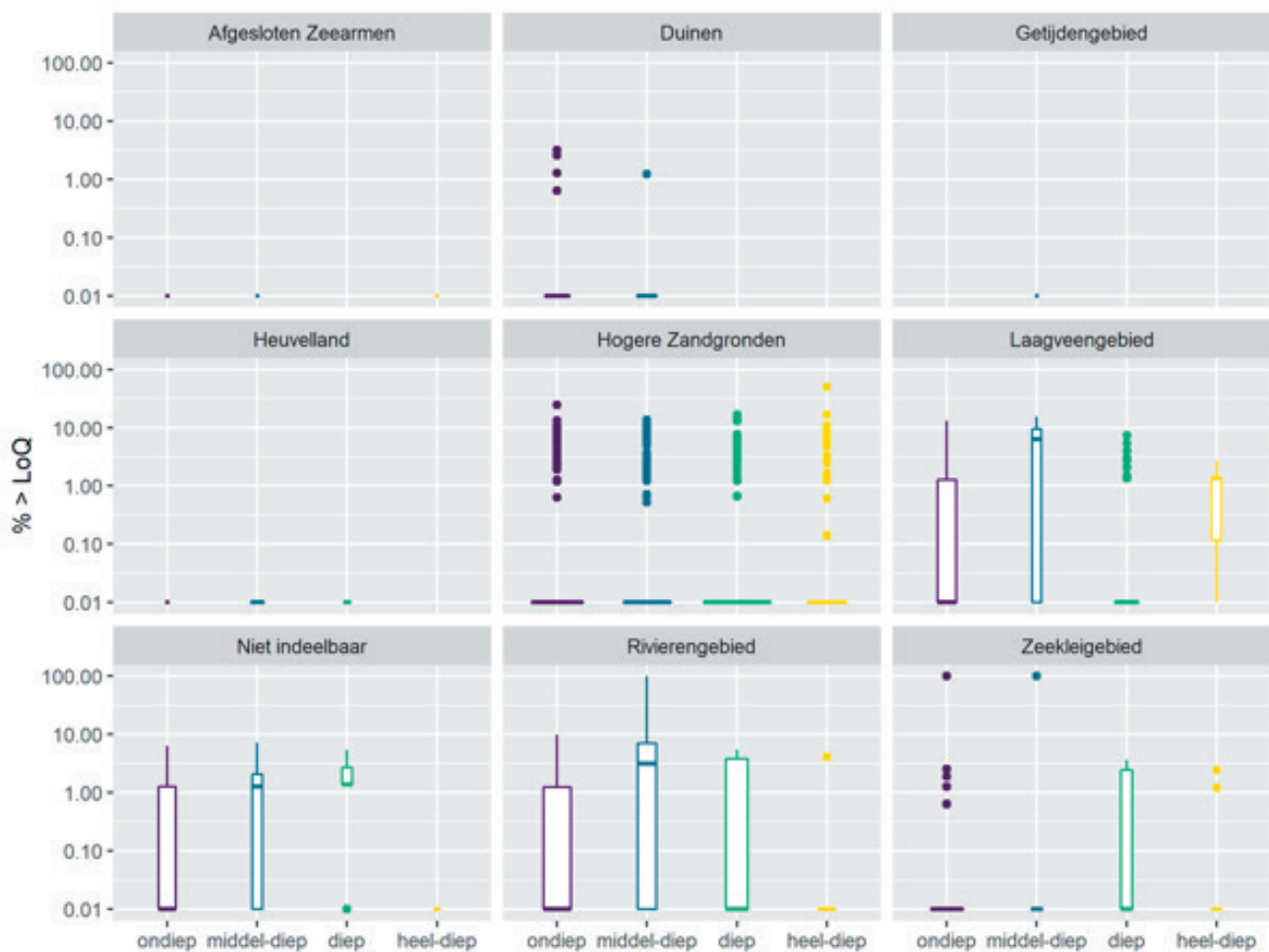
Het percentage per meetpunt van de metingen boven rapportagegrens ingedeeld voor stofgroepen en diepte klassen. De breedte van de boxplots zijn proportioneel naar het aantal metingen. Smalste box: 1 meting, breedste box: 8572 metingen. 0.01 betekent 0% boven de rapportagegrens. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn.



In **Figuur 17** is het percentage per meetpunt boven de rapportagegrens voor de stofgroep geneesmiddelen weergegeven per diepte interval en per fysisch-geografische eenheid, waarbij de breedte van de boxplots proportioneel is met het aantal metingen dat in een zone gedaan is. Hierbij valt op dat er relatief hoge percentages zijn in de diepte intervallen ondiep en middeldiep in de gebieden Laagveen, Rivierengebied en Niet indeelbaar, en ook in het diepe interval in Rivierengebied en Zeekleigebied. Hierbij moet opgemerkt worden dat in middeldiep Laagveengebied en in Niet indeelbaar middeldiep relatief weinig metingen betreft. In de Hogere Zandgronden zijn relatief veel uitschieters bij percentages boven de rapportagegrens. Naftaleensulfonaten zijn niet opgenomen in de provinciedata, daarom is het beeld beperkt tot de gebieden waar de toeleverende drinkwaterbedrijven data hebben.

### FIGUUR 17

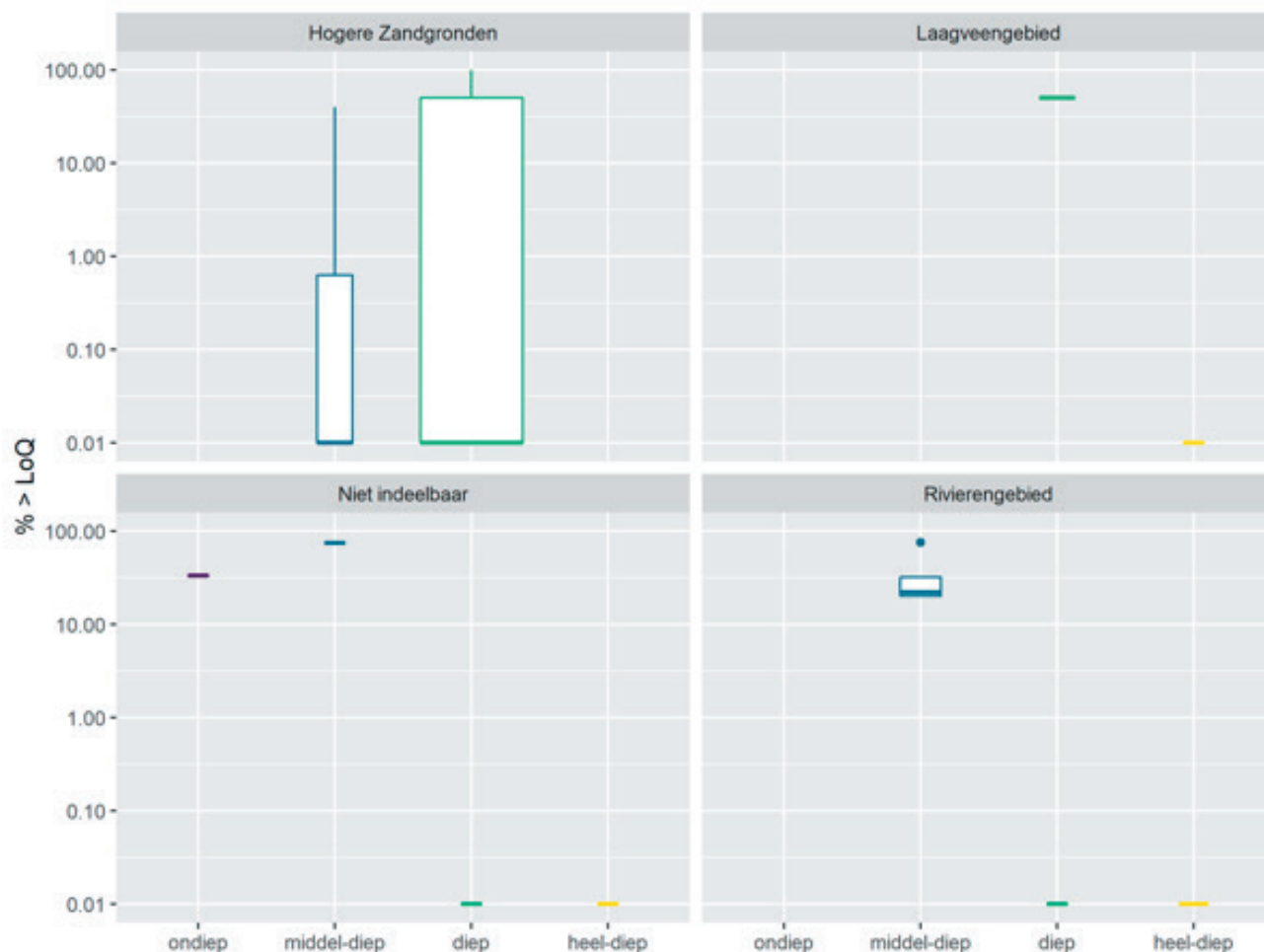
Het percentage per meetpunt van de metingen voor stofgroep Geneesmiddelen boven rapportagegrens ingedeeld naar fysische geografische regio en diepte klassen. De breedte van de boxplots zijn proportioneel naar het aantal metingen. Smalste box: 1 meting, breedste box: 6912 metingen. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn.



In **Figuur 18** is het percentage boven de rapportagegrens voor de stofgroep naftaleensulfonaten weergegeven per diepte interval en per fysisch-geografische eenheid, waarbij de breedte van de boxplots proportioneel is met het aantal metingen dat in een zone gedaan is. Deze stofgroep is alleen gemeten in Hogere Zandgronden, Laagveengebied,

**FIGUUR 18**

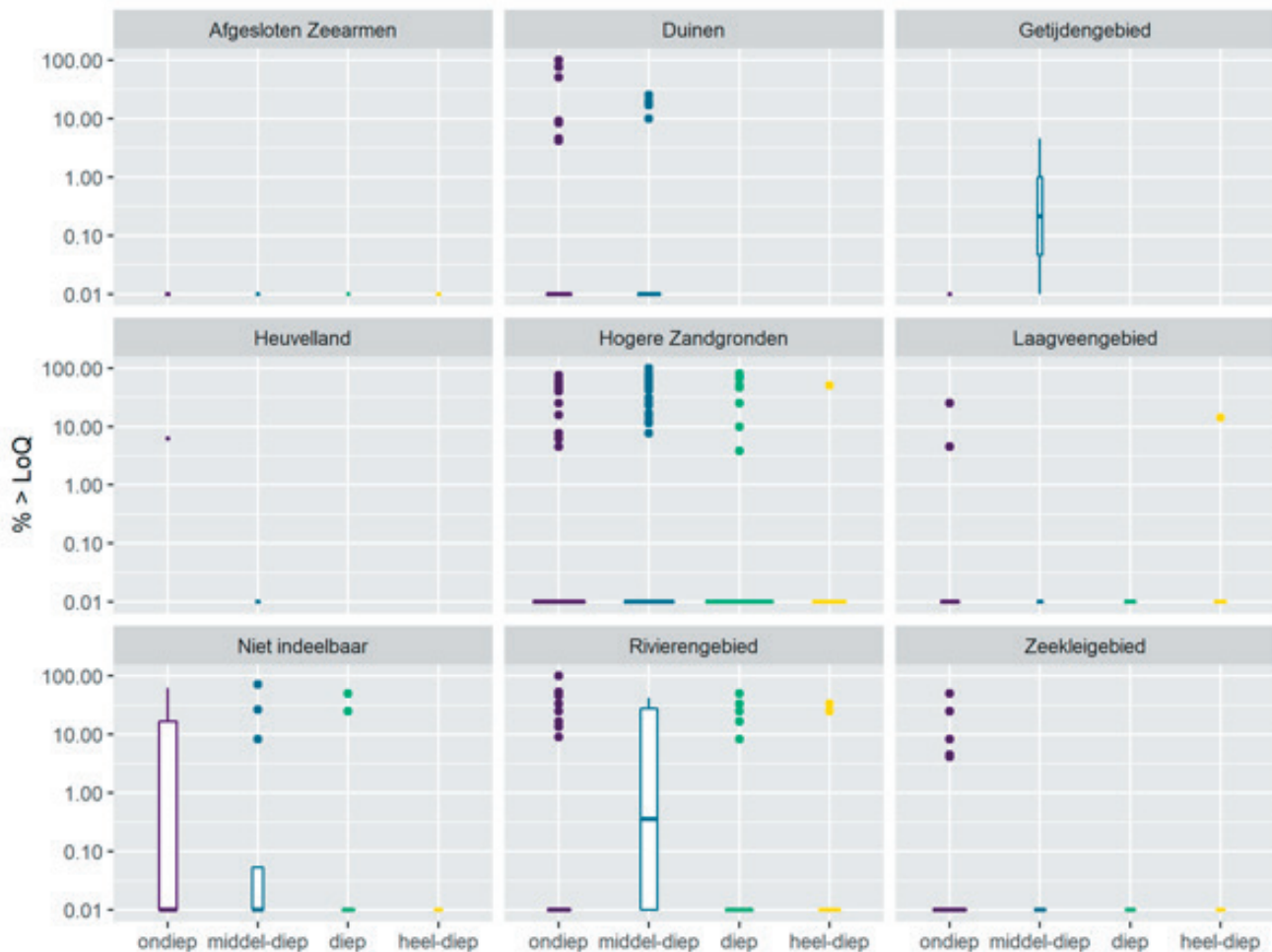
Het percentage per meetpunt van de metingen voor stofgroep Naftaleensulfonaten boven rapportagegrens ingedeeld naar fysische geografische regio en diepte klassen. De breedte van de boxplots zijn proportioneel naar het aantal metingen. Smalste box: 1 meting, breedste box: 262 metingen. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn.



In **Figuur 19** is het percentage per meetpunt boven de rapportagegrens voor de stofgroep perfluorverbindingen weergegeven per diepte interval en per fysisch-geografische eenheid, waarbij de breedte van de boxplots proportioneel is met het aantal metingen dat in een zone gedaan is. Opvallend zijn de hoge percentages in Rivierengebied en Getijdengebied in het interval middel-diep.

## FIGUUR 19

Het percentage per meetpunt van de metingen voor stofgroep Perfluorverbindingen boven rapportagegrens ingedeeld naar fysieke geografische regio en diepte klassen. De breedte van de boxplots zijn proportioneel naar het aantal metingen. Smalste box: 1 meting, breedste box: 283 metingen. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn.



### 3.4.2.2 Aantal metingen en rapportagegrenzen door de tijd voor stofgroepen

De variatie van het totaal aantal metingen door de tijd is weergegeven in [Figuur 20a](#). [Figuur 20b](#) geeft het aantal metingen boven de rapportagegrens en [Figuur 20c](#) geeft het percentage van de metingen boven de rapportagegrens voor de verschillende stofgroepen. Opgemerkt moet worden dat de data uit 2019 niet volledig is, en dat er in 2020 slechts weinig metingen in de database zitten.

De [figuren 20a, 20b, 20c](#) laten zien dat er over het algemeen meer is gemeten over de tijd en er daardoor ook meer stoffen worden aangetroffen boven de rapportagegrens.

[Figuur 20c](#) laat een toename zien voor naftaleensulfonaten van het percentage van de metingen boven de rapportagegrens na 2016 in het ondiepe en middel-diepe interval. In het diepe interval is een daling te zien van het percentage boven de rapportagegrens. Het aantal metingen en de rapportagegrens voor naftaleensulfonaten is gelijk gebleven.

Het aantal metingen voor perfluorverbindingen wordt hoger na 2016. Het percentage dat boven de rapportagegrens ligt wordt hoger in het ondiepe en middeldiepe interval na 2016 en het lijkt de laatste meetjaren weer af te nemen, maar dat

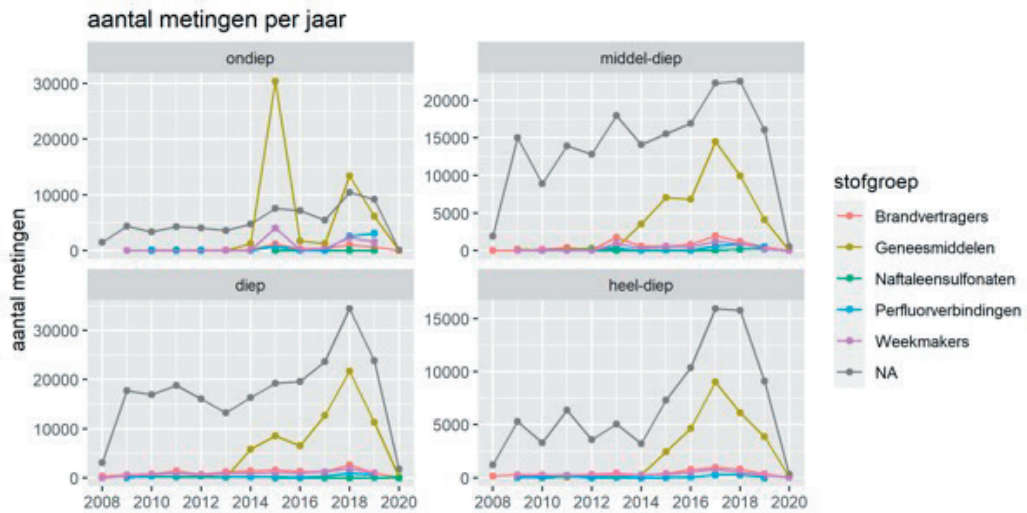
kan ook ermee te maken hebben dat de detectielimieten in die laatste jaren iets hoger is dan in de periode ervoor. De detectielimieten voor PFAS wisselen door de tijd, ze zijn relatief hoog tot 2013, laag van 2013 tot 2016, en weer wat hoger in 2018 en 2019.

Geneesmiddelen worden na 2012 meer gemeten en ook vaker aangetroffen boven de rapportagegrens. Het percentage metingen boven de rapportagegrens blijft echter gelijk, de rapportagegrens van de stofgroep geneesmiddelen varieert niet in de tijd (Figuur 21). In het heel-diep interval neemt het percentage boven de rapportagegrens af in de tijd.

De rapportagegrenzen voor hele stofgroepen zijn lastig te interpreteren door de tijd heen, aangezien er steeds andere stoffen in het pakket binnen de stofgroepen kunnen zitten.

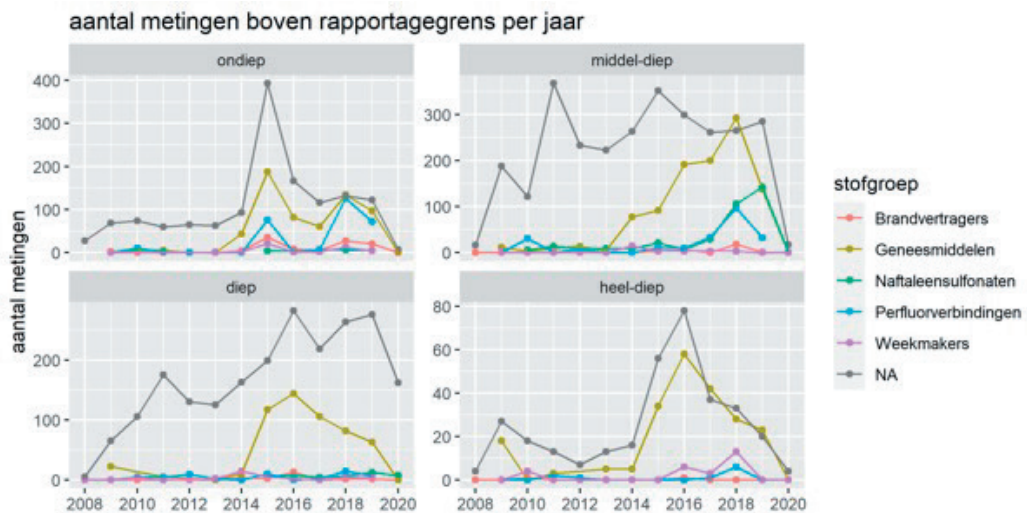
**FIGUUR 20A**

Aantal metingen voor stofgroepen. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn.



**FIGUUR 20B**

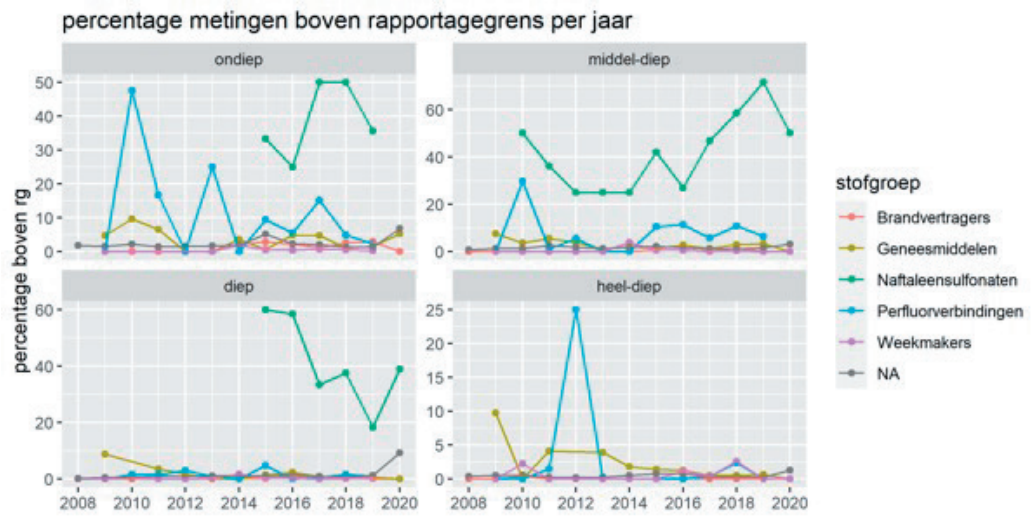
Aantal metingen boven de rapportagegrens voor stofgroepen. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn.





**FIGUUR 20C**

Percentage van het aantal metingen boven de rapportagegrens. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn.



**FIGUUR 21**

Rapportagegrenzen per jaar van stofgroepen. Hier zijn alle data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database meegenomen, ook die waar geen x,y en diepte bekend zijn.



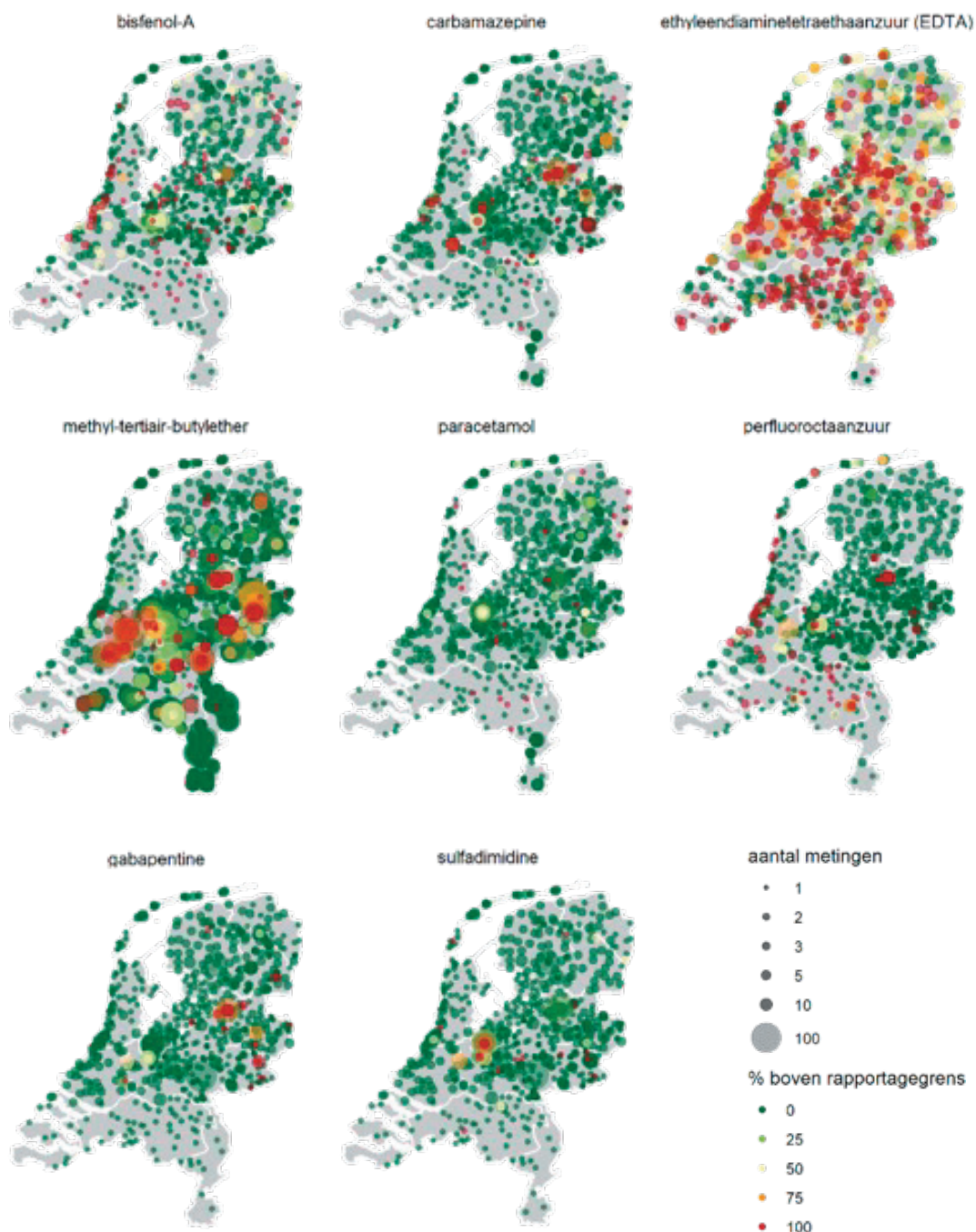
### 3.3.3 Per stof

#### 3.3.3.1 Geografische spreiding en diepte-intervallen per stof

In **Figuur 22** is de geografische spreiding van metingen weergegeven voor acht geselecteerde stoffen. Er zijn grote variaties zichtbaar in het aantal metingen per stof in de database tussen verschillende regio's en de spreiding van het aantal metingen boven de detectiegrens. Opvallend is dat in het zuiden van het land minder metingen zitten per meetpunt voor een aantal stoffen, dit kan te maken hebben met de stoffenpakketten die zijn gemeten.

#### FIGUUR 22

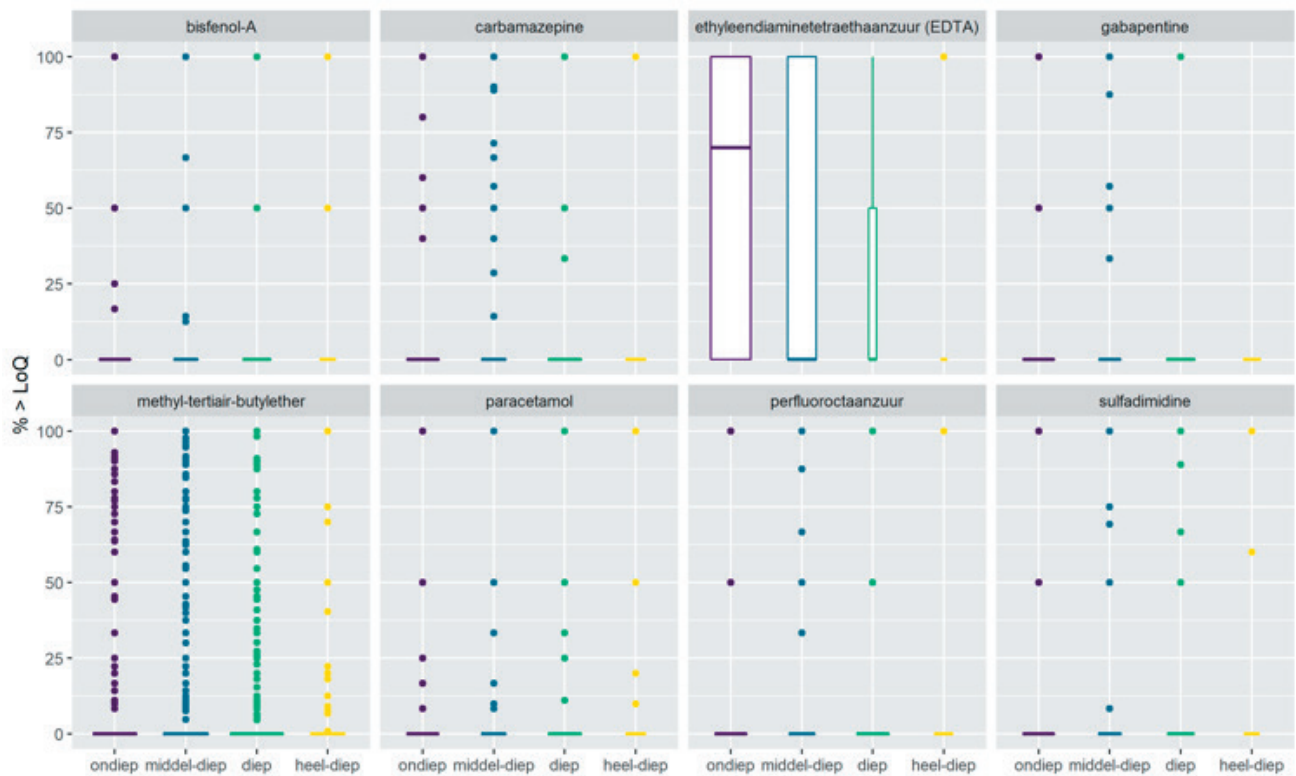
Geografische verspreiding van de metingen van de geselecteerde stoffen. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn. 'aantal metingen' geeft de totale hoeveelheid metingen per locatie weer, en '% boven rapportagegrens' is het percentage van de metingen per meetpunt dat boven de rapportagegrens zit.



In **Figuur 23** is het percentage per meetpunt boven de rapportagegrens voor de stoffen weergegeven per diepte interval, waarbij de breedte van de boxplots proportioneel is met het aantal metingen dat in een diepte interval gedaan is. In aanvulling op bovenstaande kaartjes (**Figuur 22**) geven deze boxplots inzicht in de variatie per diepteklasse. Door alle stoffen op landelijke schaal bij elkaar te presenteren, overheersen de metingen onder de rapportagegrens, en is geen variatie in het voorkomen van de stoffen te zien in de diepte. In de verder analyse is ook onderscheid gemaakt in de fysische geografische eenheden, wat meer variatie tussen dieptes laat zien.

### FIGUUR 23

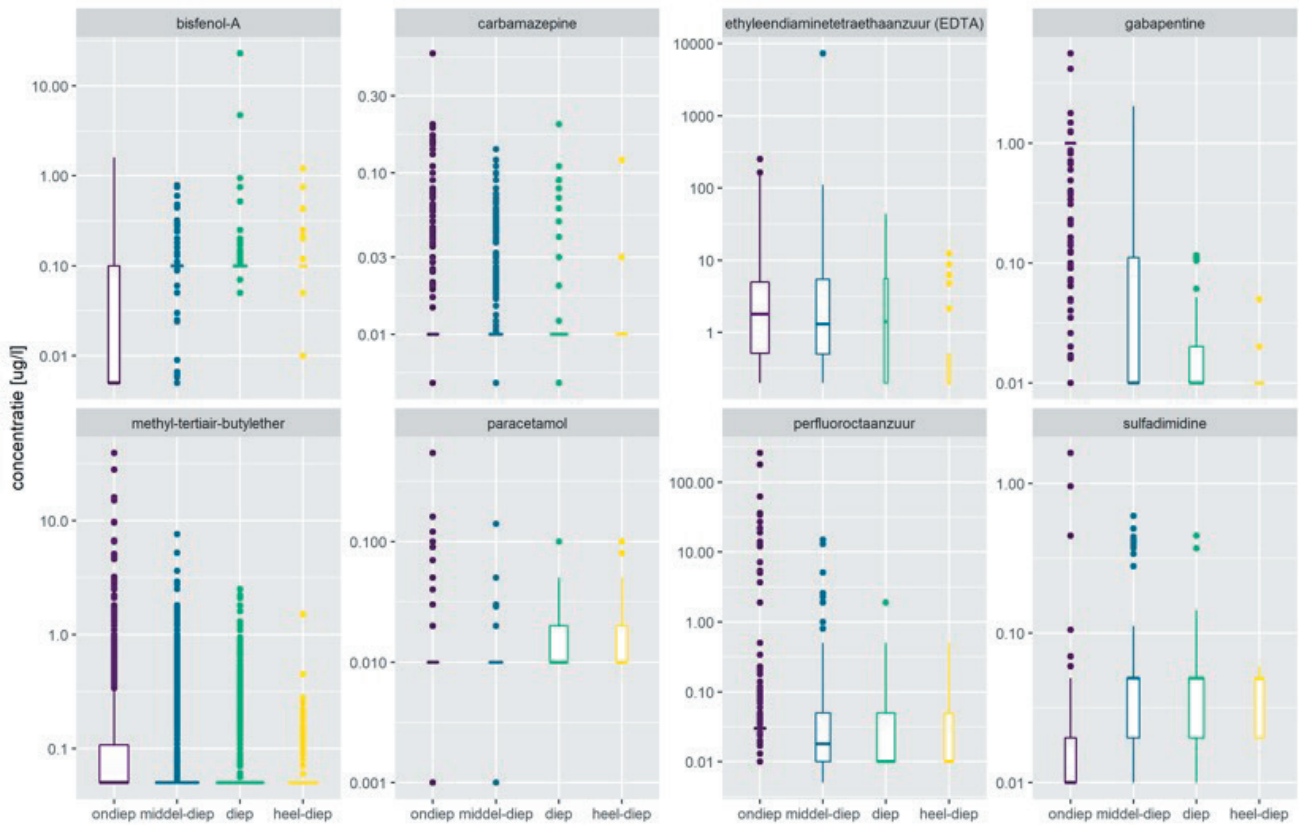
Het percentage per meetpunt van de metingen boven rapportagegrens ingedeeld voor de stof-selectie en diepte klassen. De breedte van de boxplots zijn proportioneel naar het aantal metingen. Smalste box: 1 meting, breedste box: 178 metingen. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn.



Figuur 24 geeft de concentraties weer van de verschillende stoffen op verschillende dieptes, hierbij is over het algemeen een afname van de concentratie met de diepte te zien. Sulfadimidine is lager in het ondiepe interval dan in de diepere intervallen. Opmerkelijk zijn de hoge uitschieters die zijn gemeten voor EDTA van bijna 10000 µg/l en PFOA metingen hoger dan 100 µg/l.

### FIGUUR 24

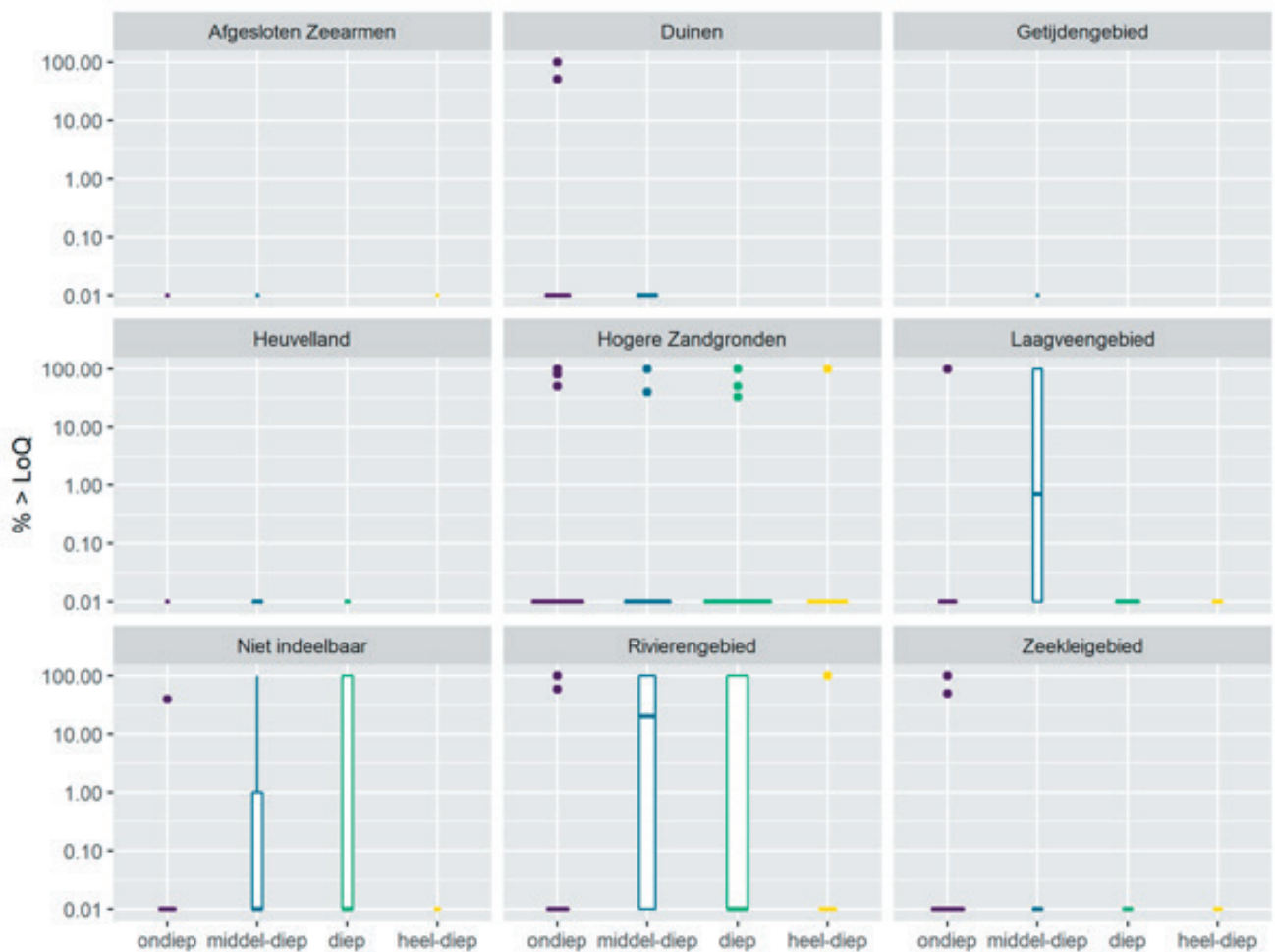
Concentraties van de stof-selectie voor de verschillende diepte klassen. Smalste box: 21 meting, breedste box: 7995 metingen. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn.



In **Figuur 25** is het percentage per meetpunt boven de rapportagegrens van carbamazepine weergegeven per diepte interval en per fysisch-geografische eenheid, waarbij de breedte van de boxplots proportioneel is met het aantal metingen dat in een zone (diepte-interval en fysisch-geografische eenheid) gedaan is. Carbamazepine is relatief vaak aangetroffen boven de rapportagegrens in de middeldiepe en diepe intervallen in Rivierengebieden en Niet indeelbaar gebied, en in het diepe interval in Laagveengebied.

**FIGUUR 25**

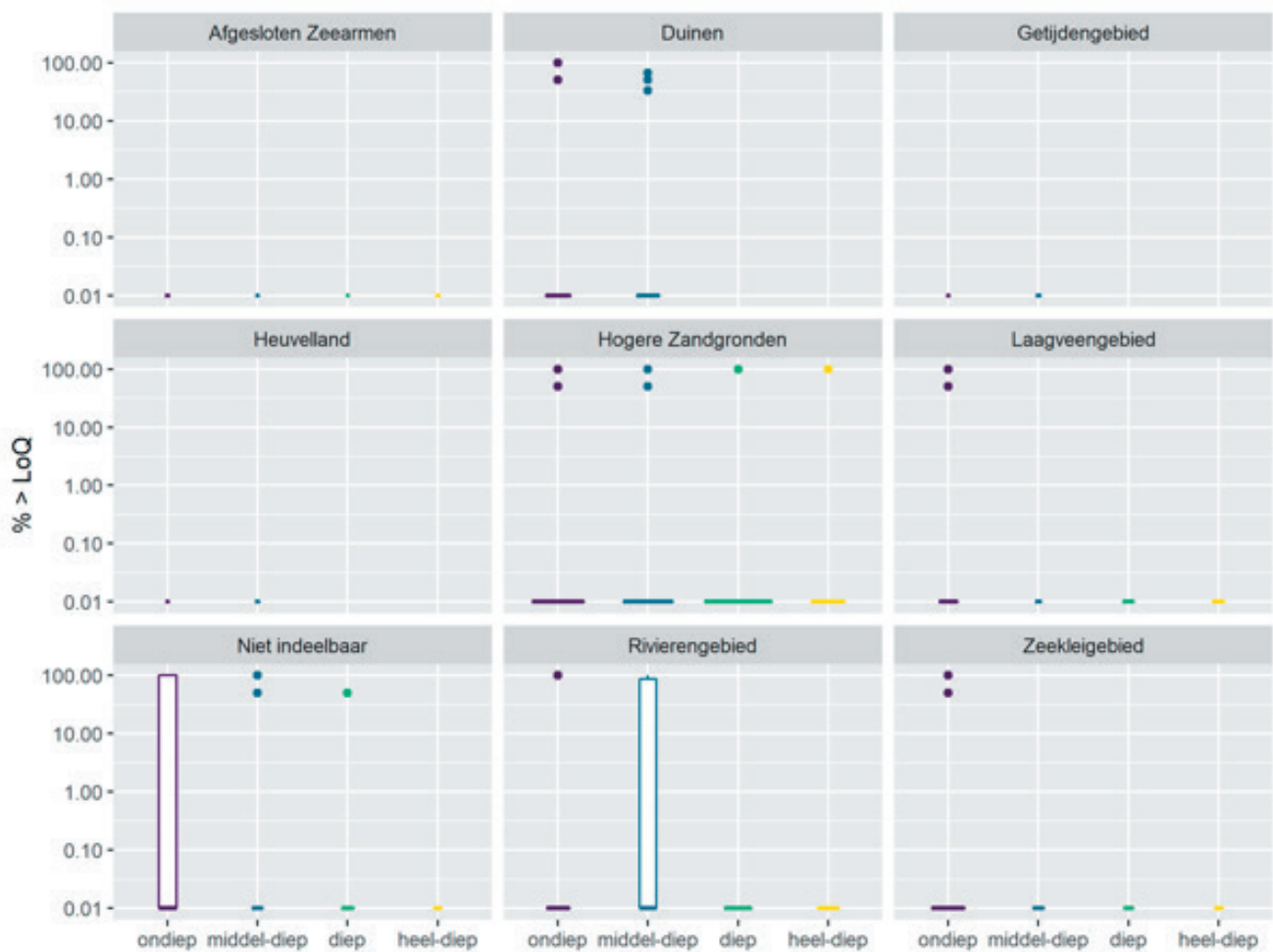
*Het percentage per meetpunt van de metingen van Carbamazepine boven rapportagegrens ingedeeld naar fysische geografische regio en diepte klassen. De breedte van de boxplots zijn proportioneel naar het aantal metingen. Smalste box: 1 meting, breedste box: 78 metingen. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn.*



In **Figuur 26** is het percentage boven de rapportagegrens van perfluorocanzuur (PFOA) weergegeven per diepte interval en per fysisch-geografische eenheid, waarbij de breedte van de boxplots proportioneel is met het aantal metingen dat in een zone gedaan is. Opvallend is dat PFOA relatief vaak voorkomt boven de rapportagegrens in het middel-diepe interval in het Rivierengebied en ondiepe interval in Niet indeelbaar gebied.

**FIGUUR 26**

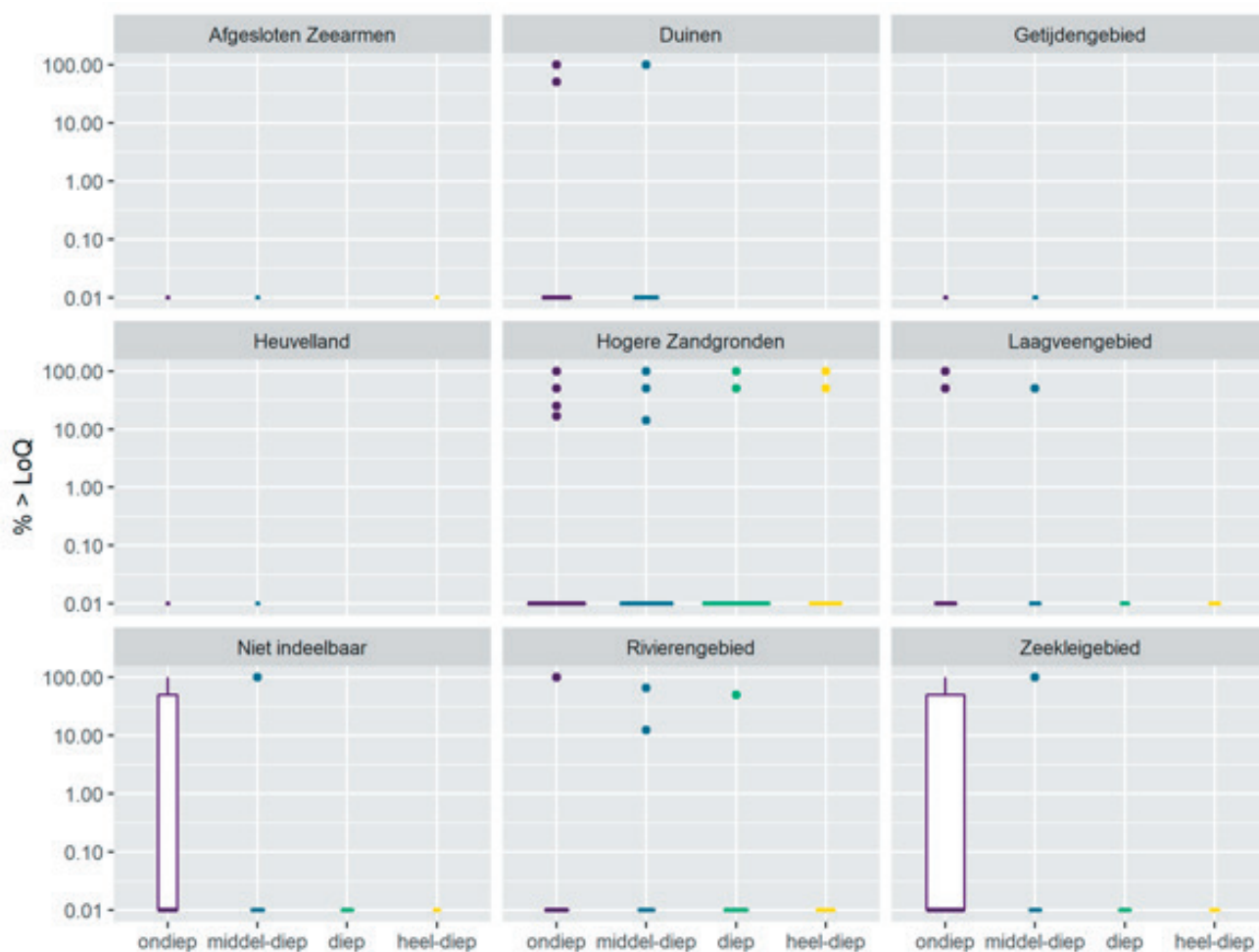
*Het percentage per meetpunt van de metingen van Perfluorocanzuur boven rapportagegrens ingedeeld naar fysische geografische regio en diepte klassen. De breedte van de boxplots zijn proportioneel naar het aantal metingen. Smalste box: 1 meting, breedste box: 44 metingen. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn.*



In [Figuur 27](#) is het percentage boven de rapportagegrens van Bisfenol-A weergegeven per diepte interval en per fysisch-geografische eenheid, waarbij de breedte van de boxplots proportioneel is met het aantal metingen dat in een zone gedaan is. Opvallend is dat bisfenol-A relatief vaak aangetroffen wordt boven de rapportagegrens in Zeekleigebied en het Niet indeelbare gebied.

### FIGUUR 27

Het percentage per meetpunt van de metingen van bisfenol-A boven rapportagegrens ingedeeld naar fysische geografische regio en diepte klassen. De breedte van de boxplots zijn proportioneel naar het aantal metingen. Smalste box: 1 meting, breedste box: 33 metingen. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn.

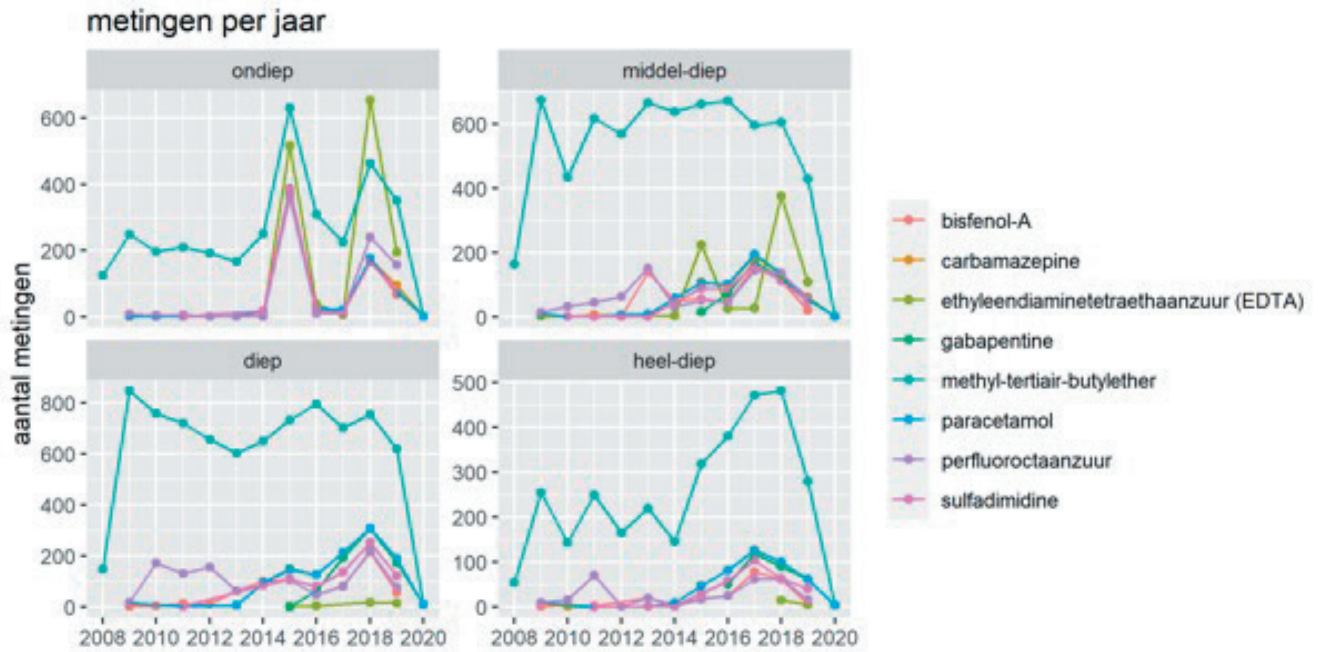


#### 3.3.3.2 Aantal metingen en rapportagegrenzen door de tijd voor stoffen

De variatie van het totaal aantal metingen van de geselecteerde stoffen door de tijd is weergegeven in [Figuur 28a](#). [Figuur 28b](#) geeft het aantal metingen boven de rapportagegrens en [Figuur 28c](#) geeft het percentage van de metingen boven de rapportagegrens voor de acht verschillende stoffen. Zoals eerder is benoemd is de dataset van 2019 en 2020 niet compleet en geven onderstaande figuren voor deze jaren een vertekend beeld.

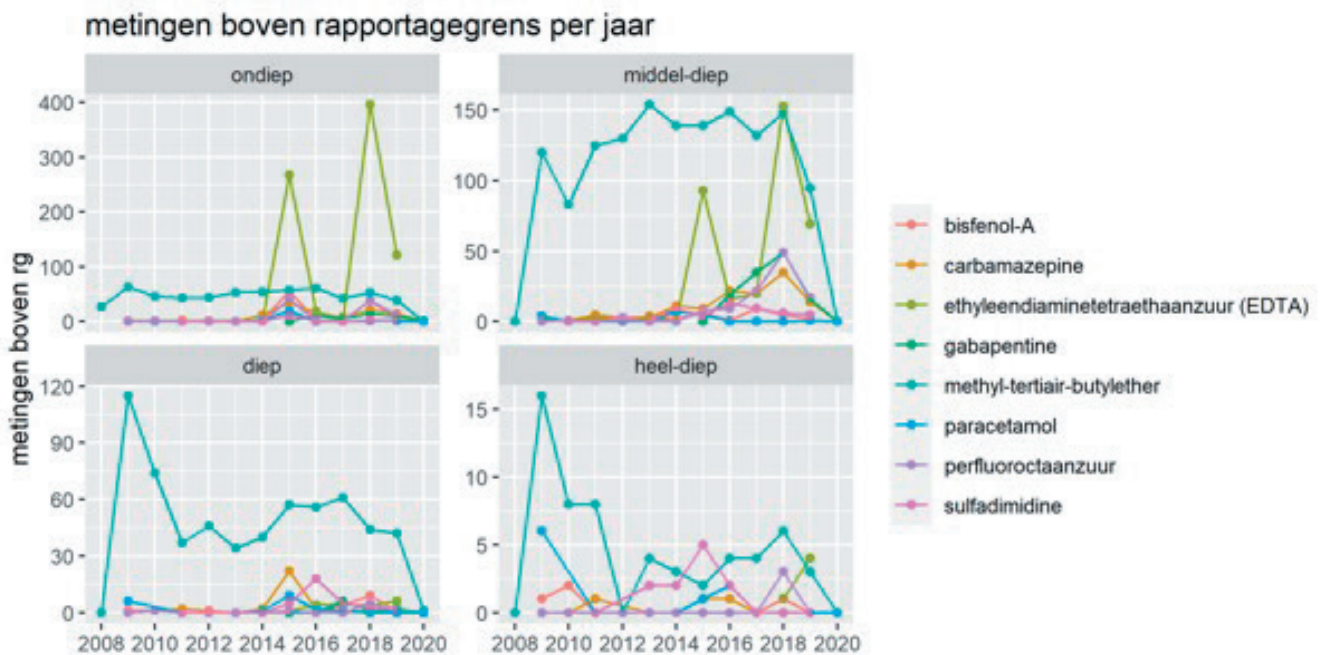
**FIGUUR 28A**

Aantal metingen voor de individuele stoffen. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn.



**FIGUUR 28B**

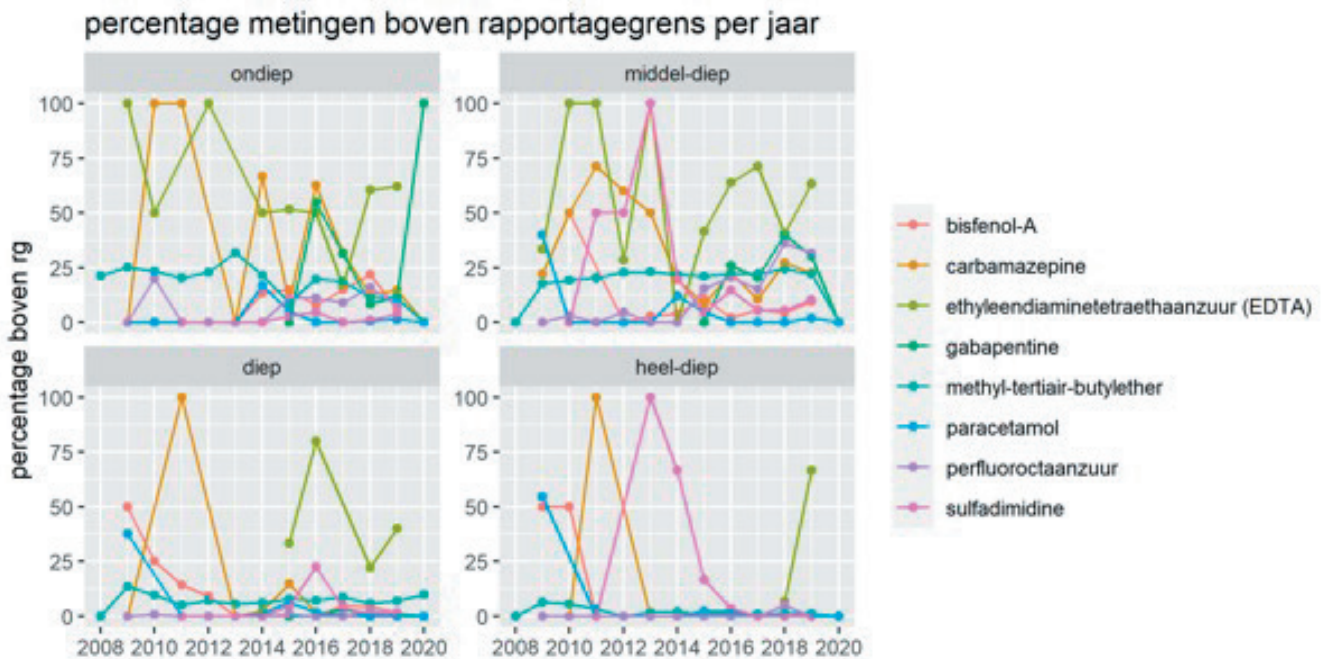
Aantal metingen boven de rapportagegrens voor de individuele stoffen. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database waar x,y en diepte bekend zijn.





**FIGUUR 28C**

Percentage van het aantal metingen boven de rapportagegrens. Dit zijn de data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegevoegde database waar x,y en diepte bekend zijn.

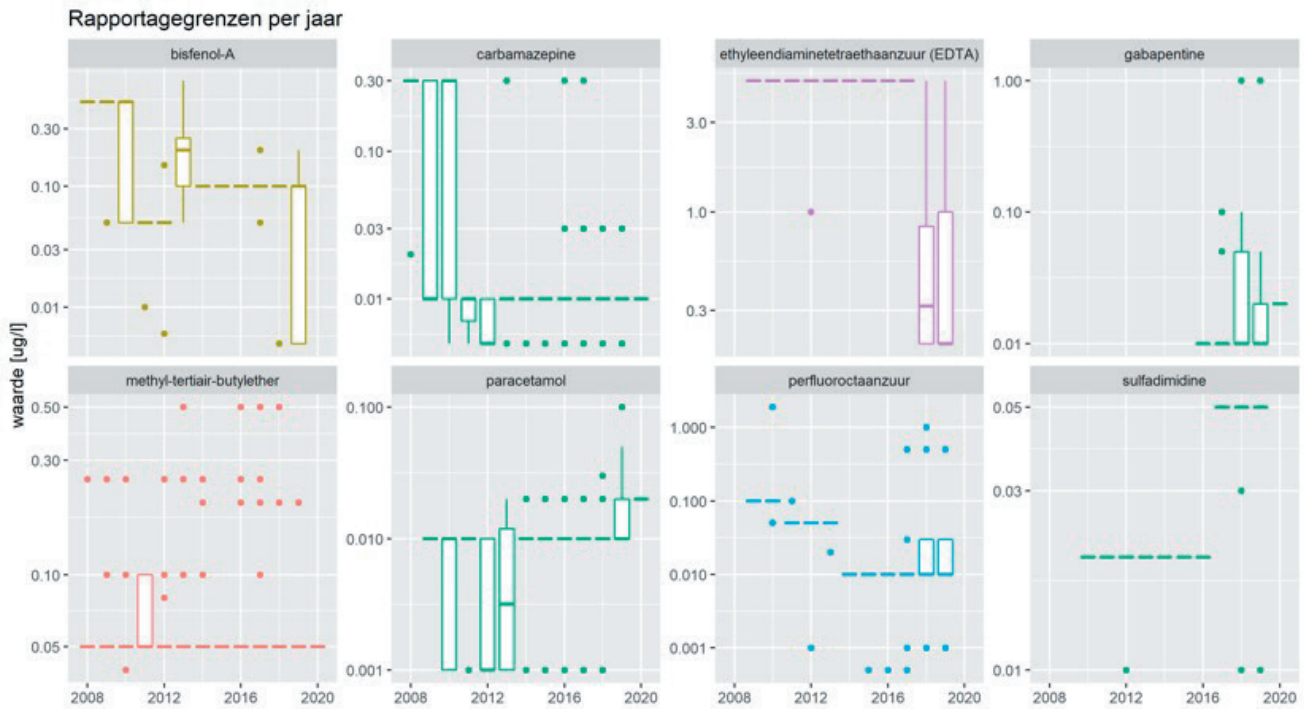


In [Figuur 28a](#) is te zien dat er sinds 2014 over het algemeen meer metingen zijn voor deze stoffen. Er zijn dan ook vaak meer metingen boven de rapportagegrens ([Figuur 28b](#)), zoals bij EDTA. De percentages die per meetpunt boven de rapportagegrens zitten ([Figuur 28c](#)) worden voor EDTA in het ondiepe en middeldiepe interval lager. In het diepe en heel diepe interval zijn pas sinds 2015 metingen, er is geen trend te zien. Voor sulfadimidine is in het ondiepe interval het percentage boven de rapportagegrens laag, met een piek in 2016. Er zijn er hogere percentages boven de rapportagegrens in middel-diepe filters tussen 2010 en 2014. In de diepe filters is een piek (tot 25%) rond 2016, en in de heel diepe filters tussen 2011 en 2016 (tot 100%). Voor bisfenol-A, neemt het percentage boven de rapportagegrens af in middel-diepe, diepe en heel-diepe interval in de loop van de tijd. In het ondiepe interval neemt het percentage juist toe. Voor MTBE zijn relatief veel metingen, in de loop van de tijd minder in het diepe en heel-diepe interval. Het percentage boven de rapportagegrens neemt af in de ondiepe, diepe en heel-diepe intervallen, maar blijft gelijk in het middel-diepe interval.

De rapportagegrenzen van de geselecteerde stoffen zijn weergegeven in de tijd in [Figuur 29](#). Hierin is te zien dat de rapportagegrenzen over het algemeen dalen in de loop van de tijd, dat wil zeggen, de laagste punten in de grafieken zijn over het algemeen meer naar rechts te vinden, zoals voor bisfenol-A, carbamazepine, EDTA en PFOA. Echter, de rapportagegrenzen worden niet structureel lager, en variëren door de tijd, en worden voor sommige stoffen juist hoger in de tijd, zoals bijvoorbeeld voor paracetamol en sulfadimidine.

## FIGUUR 29

Rapportagegrenzen stof-selectie. Hier zijn alle data in de opgeschoonde en op de opkomende stoffen toegespitste database meegenomen, ook die waar geen x.y en diepte bekend zijn.



### 3.4 INZOOMEN OP REGIONALE SCHAAL

In deze studie is een landelijke database gemaakt. Om inzicht te krijgen in de lokale bruikbaarheid van een dergelijke database, is geprobeerd om in het case study gebied rond Woerden in te zoomen in de database. Doel was om te bekijken of op die manier inzicht te verkrijgen was in bronnen en paden in het systeem, zoals stoffen die vanuit een tankstation vrijkomen, of bij oeverinfiltratie het systeem in komen, zonder dat aanvullende, locatie-specifieke gegevens of informatie werd verzameld.

Het gebruik van gegevens uit de landelijke database geeft maar beperkt inzicht in de bronnen en verspreiding van verontreinigingen. Het is niet mogelijk om een analyse te doen van bronnen en paden voor opkomende stoffen. Om dit wel te kunnen doen, zouden de data verder verrijkt moeten worden met meer gedetailleerde informatie over de opbouw van de ondergrond, de hydrologie en potentiële bronnen. En zouden de bevindingen van andere studies in de regio betrokken moeten worden.

### 3.5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

#### 3.5.1 Eigenschappen en beperkingen van de database Opkomende stoffen in grondwater

Een database van opkomende stoffen in grondwater is samengesteld door het samenvoegen en structureren van gegevens van opkomende stoffen in grondwater van zes drinkwaterbedrijven voor de periode 2009-2019 en van twee KRW-meetrondes (2015-2016 en 2017-2018/2019) van provincies. De resulterende database bevat gegevens voor een groot aantal stoffen die zijn geanalyseerd in waarnemingsputten, onttrekkingsputten en ruwwaterstrengen (verzameld onttrokken grondwater). Van een groot deel van de gegevens zijn de monsterlocaties goed bekend. Deze metagegevens zijn essentieel voor de interpretatie van de database en om patronen te herkennen en te koppelen aan handelingsperspectieven.

Een dergelijke samengestelde database bevat per definitie hiaten en artefacten als gevolg van verschillen in de monitoring en aanlevering. Zo meten bronhouders op verschillende diepten, met verschillende meetpakketten en rapportagegrenzen en is de aangeleverde data niet geheel uniform, o.a. door verschillen in tijdvenster waarvoor bronhouders data hebben aangeleverd. Daarnaast is een deel van de monitoring van drinkwaterbedrijven risicogericht uitgevoerd, waardoor meetgegevens voor locaties waar verontreinigingen worden vermoed of eerder zijn aangetroffen oververtegenwoordigd zijn.

### 3.5.2 Verwerking en bewerking van data

Het verwerken van data van de verschillende bronhouders vereiste een forse investering in het uniformeren van de aangeleverde databestanden. Bronhouders hanteren namelijk (nog) geen uniforme naamgeving, symbolen, eenheden en structuur. Om het samenvoegen van databases van stoffen vanuit verschillende databronnen te vereenvoudigen, is het aan te bevelen om voor zover als mogelijk CAS nummers toe te voegen, zodat de stoffen die gemeten zijn op uniforme wijze zijn te identificeren.

Doordat een deel van deze werkzaamheden niet geautomatiseerd kan worden, is het praktisch onmogelijk om een geheel foutloze database te verkrijgen. Ook is een deel van de data niet gebruikt. Patronen in kleine subsets van de database kunnen hierdoor vertekend zijn.

De verscheidenheid aan stoffen in combinatie met de veelal lokale voorkomens maakt grondwaterkwaliteitsdata erg complex en moeilijk te interpreteren. Om de grotere patronen zichtbaar te maken is aggregatie van data noodzakelijk. In deze studie is aggregatie uitgevoerd op basis van een beperkt aantal stofgroepen. Echter, ook bij deze aanpak zijn een aantal kanttekeningen te plaatsen. Zo is er voor sommige stofgroepen geen algemeen geaccepteerde definitie, zijn sommige stoffen niet goed te identificeren en kunnen sommige stoffen tot verschillende stofgroepen worden gerekend.

### 3.5.3 Opkomende stoffen in grondwater

De analysesresultaten bevestigen de diffuse aanwezigheid van opkomende stoffen in het grondwater. Opkomende stoffen komen door het hele land voor in het grondwater, op alle bemeten dieptes. In totaal zijn in deze database over het Nederlandse grondwater ruim duizend verschillende aangetroffen stoffen opgenomen die wij hebben aangemerkt als opkomende stoffen. Hiervan is een beperkt aantal op grote schaal in het Nederlandse grondwater aanwezig. Veruit de meeste stoffen zijn echter incidenteel aangetroffen, en lijken daarmee enkel de lokale grondwaterkwaliteit te bepalen. Dit lokale karakter is kenmerkend voor de verspreiding van opkomende stoffen in grondwater langs stroombanen. Pas bij de uitstroompunten, zoals onttrekkingen en drainerend oppervlaktewater, komen de opkomende stoffen samen die via het grondwater getransporteerd zijn, samen. Daarbij moet opgemerkt worden dat de bestudering van de database nog geen bron-pad-receptor analyse bevat en dus geen inzicht in voorkomen en verspreiding in combinatie met de setting in het bodem en watersysteem te verkregen is.

De diffuse verontreiniging van het grondwater met een verscheidenheid aan stoffen bevestigt het risico van mengseltoxiciteit voor verschillende receptoren. Ter plaatse van grondwateronttrekkingen en drainerend oppervlaktewater, bijvoorbeeld, komt door convergerende stroming grondwater met uiteenlopende ouderdom en herkomst bij elkaar. Dit betekent dat daar ook verschillende verontreinigingen, die tot dan toe op verschillende posities in de ondergrond aanwezig waren, bij elkaar komen. Hoewel dit mengen van verschillende verontreinigingen gepaard gaat met afnemende concentraties door verdunning kan dit de toxiciteit verhogen.

Trends in de database zijn vertekend als gevolg van wisselende meetinspanningen in combinatie variatie in voor analysepakketten en de daarmee samenhangende rapportagegrenzen. Voor een goede interpretatie van trends dienen de hieruit resulterende artefacten in ogenschouw genomen te worden. Zo blijkt uit de database dat in alle typen putten her en der steeds meer stoffen zijn aangetroffen, maar dat dit geheel of gedeeltelijk samenhangt met uitbreiding van de analysepakketten. Globale trends in de data kunnen daarmee noch bevestigen noch ontkrachten dat opkomende stoffen een steeds grotere diepte bereiken. Hetzelfde geldt voor de effectiviteit van recent beleid gericht op het verminderen van de belasting van het grondwater met opkomende stoffen; er is geen duidelijke trend zichtbaar in het aantal aangetroffen stoffen in ondiep grondwater. Hierbij valt echter ook niet uit te sluiten dat de effecten van beleid nog niet in de waar-

nemingsputten meetbaar zijn, doordat de reistijd van verontreinigingen tot de diepte van monitoring enkele jaren tot enkele tientallen jaren kan zijn. De rapportagegrenzen zijn belangrijk bij de analyses van de stoffen, hoe lager deze zijn, hoe beter een beeld gevormd kan worden van het voorkomen van de stoffen in het grondwater, en patronen in de ruimte en in de tijd kunnen beter gevolgd worden.

#### **3.5.4 Verdere valorisatie**

Hoewel de samengestelde database beperkingen en aandachtspunten kent, biedt deze een aantal perspectieven voor verdere onderbouwing van beleid.

Een van de uitdagingen in de aanpak van opkomende stoffen in grondwater is het herkennen van patronen die te koppelen zijn aan handelingsperspectieven. In deze studie is hier een begin mee gemaakt door de waterkwaliteitsdata te aggregeren op stofgroepniveau. Hiermee wordt het voorkomen van stoffen gekoppeld aan gebruikspatronen en beleidsvelden. Een omissie in deze aanpak is dat stoffen en stofgroepen niet eenduidig geprioriteerd kunnen worden. Voor prioritering dienen zowel de concentratie als de schaal van voorkomen meegewogen te worden. Voor de drinkwaterfunctie is de zuiveringsinspanningsindex beschikbaar. Deze index scoort de kwaliteit van het grondwater als bron voor drinkwaterproductie en geeft inzicht in de parameters die het meest bepalend zijn in grondwatersamenstelling.

In de vraagarticulatie op gebied van risico's van langetermijneffecten van menselijke activiteiten op de grondwaterkwaliteit die in 2021 door Stantec is opgeleverd (Bijlage 3) is een top 10 aan kennisvragen geformuleerd. In deze kennisvragen spelen kennisleemtes voor opkomende stoffen een rol, de informatie in de database uit deze studie is bruikbaar voor het invullen van deze kennisleemtes.

Door enkel in te zoomen op een deel van de database, in deze studie rond Woerden, is het niet mogelijk om bronnen en paden van opkomende stoffen in het grondwater te identificeren. Hiervoor zijn lokale gebiedsstudies nodig waarbij de chemische data wordt gecombineerd met specifieke informatie over stromingspatronen, reistijden en kenmerken van mogelijke verontreinigingsbronnen.

#### **3.5.5 Status database en aanbevelingen voor behoud van de database**

Er is een grote database opgebouwd met opkomende stoffen in het grondwater, en deze is verrijkt met data over stofgroepen, diepten en fysisch geografische eenheden. Deze database bevat zeer veel data, het samenvoegen van databases is tijdrovend. Deze eerste studie van deze database laat zien welke data er is en wat er op hoofdlijnen te zien is in de tijd en de ruimte. De database wordt na deze studie aan de bronhouders terug geleverd. Voor opvolgende vragen is het aan te bevelen om de database als geheel te behouden en te beheren, zodat die in de toekomst opvraagbaar blijft. Hiertoe zou de data centraal opgeslagen, waarbij vóór gebruik toestemming gevraagd moet worden gevraagd bij de bronhouder(s) die de data hebben aangeleverd. Ook zou het goed zijn om ervoor te zorgen dat de databases geüpdatet worden als er iets in de bronbestanden wijzigt. Dit vraagt om goede afspraken tussen partijen (zoals de drinkwaterbedrijven, provincies, BRO) over waar, hoe en onder welke randvoorwaarden de data opgeslagen, onderhouden worden en opvraagbaar zijn.

#### **3.5.6 Uitgevoerd onderzoek en oorspronkelijke plan van aanpak van de themagroep grondwater van de werkgroep Aanpak Opkomende Stoffen**

Het oorspronkelijke plan van aanpak van de themagroep grondwater van de werkgroep Aanpak opkomende stoffen bestond uit zes onderdelen: (Internationaal) literatuuronderzoek; Data-analyse beschikbare meetgegevens; Bron-pad analyse; Prioritering(smethodiek); Handelingsperspectief bepalen; Basisonderzoek 'onbekende stoffen/ bronnen'.

Met de kennisimpuls grondwater is (deels) invulling gegeven aan de bovengenoemde punten. De resultaten van de data-analyse zijn weergegeven in dit hoofdstuk. Een aantal onderdelen uit het oorspronkelijke plan van aanpak is nog niet (geheel) ingevuld. Zo is er in de opgeleverde producten nog beperkt aandacht voor de gevonden opkomende stoffen in buitenlands grondwater. De bron-pad analyse heeft nog beperkt plaats gevonden. Verdere invulling hiervan zal plaats vinden in een nieuw PPS-project (Van bron tot effect (B2E): Integrale aanpak van industriële probleemstoffen uit lozingen

op het oppervlaktewater). Ook in het GEO-ERA project Hover is er aandacht geweest voor het gedrag van chemische verontreinigingen gedurende infiltratie naar en in het grondwater.

Binnen de werkgroep Aanpak opkomende stoffen wordt gewerkt aan prioritering van stoffen op basis van PMT-eigenschappen (Persistentie, Mobiliteit en Toxiciteit). Dit richt zich nog voornamelijk op oppervlaktewater en de eventuele inname voor drinkwater vanuit oppervlaktewater. Bekeken moet worden hoe dit onderzoek ook gebruikt kan worden voor prioritering van stoffen met risico's voor grondwater. In het hoofdstuk Handelingsperspectieven van dit rapport wordt aangegeven welke mogelijkheden er zijn voor de aanpak van opkomende stoffen.

Het basisonderzoek onbekende stoffen/bronnen had als doel om risico's vast te stellen voor emissies van nieuwe onbekende stoffen vanwege bijvoorbeeld transities als de circulaire economie en energie. Hieraan is deels invulling gegeven met de deltafacts vanuit de kennisimpuls over bodemenergiesystemen en kunstmatige infiltratie. Daarnaast zou een signaleringsmethodiek opgesteld worden voor nu nog onbekende stoffen en bronnen via screeningstechnieken. Hieraan is nog geen invulling gegeven.

## ►► 4 RISICO'S GERELATEERD AAN GROTE MAATSCHAPPELIJKE ONTWIKKELINGEN

Grondwaterverontreinigingen zijn de spiegel van de tijd. Dat was al letterlijk het geval bij spiegel-makerijen in de binnensteden (kwik), via chemische dumpingen in de jaren '70 en door de tijd variërende bestrijdingsmiddelen in de landbouw. Maatschappelijke ontwikkelingen en omstandigheden vinden aldus hun weerslag in de grondwaterkwaliteit. Om een inschatting te kunnen maken van de toekomstige grondwaterkwaliteit, is het daarom zinvol stil te staan bij huidige en te verwachten maatschappelijke ontwikkelingen. Daarbij past enige bescheidenheid, omdat het lastig is de maatschappij van 100 jaar na nu te voorspellen, zoals het voor mensen in 1922 ook moeilijk moet zijn geweest zich een juist beeld te vormen van 2022.

### LANDBOUW

De landbouw is nog steeds een belangrijke veroorzaker van grondwaterverontreiniging, al neemt de belasting met nutriënten en bestrijdingsmiddelen (uitgedrukt in kg werkzame stof) licht af (Negash en Swartjes (2021)). Het aandeel biologische landbouw (van belang door het niet gebruiken van kunstmest en chemische bestrijdingsmiddelen) neemt in Nederland slechts langzaam toe. Binnen de EU is Nederland één van de landen met het kleinste aandeel biologische landbouw<sup>1</sup>. Wel is er een trend om met name kassen zo veel mogelijk als gesloten systemen in te richten, waardoor op termijn de belasting van de omgeving omlaag zou kunnen gaan. Op EU-niveau ('from farm to fork', onderdeel van de Green Deal) is er beleid ingezet om de landbouw minder milieubelastend te maken en wel een hoog productie-niveau te houden.

De landbouwtransitie is in KIWK Grondwater verder niet beschouwd, omdat andere projecten zich daar al mee bezig hielden.

### ENERGIETRANSITIE

Een belangrijke factor voor de komende decennia is ongetwijfeld de energietransitie, waarvoor onder andere naar de ondergrond wordt gekeken. Bij één van de werkpakketten zijn twee Deltafacts geschreven, één over bodemenergiesysteem en één over geothermie. Bij toepassing van deze technieken is blijvend aandacht nodig voor het voorkómen van grondwaterverontreiniging. Naarmate deze technieken op grotere schaal worden toegepast, neemt het belang daarvan nog verder toe.

### KLIMAATVERANDERING

Door klimaatverandering kan de variabiliteit in het klimaat toenemen. Dat kan betekenen langdurige perioden van droogte, zoals we in 2018, 2019 en 2020 hebben gezien. Het gebruik van grondwater kan helpen om periodes van droogte te overbruggen, maar te veel gebruik van grondwater kan schade veroorzaken aan gebouwen en aan de natuur. Meer nog dan in het verleden zal moeten worden ingezet op het in stand houden van de grondwatervoorraad bijvoorbeeld door water minder (snel) af te voeren en nog meer in te zetten op vasthouden van water. Indien wordt gekozen voor actieve infiltratie is het belang van goede kwaliteit van het te infiltreren water van groot belang. Door andere typen infiltratie kan wellicht de zelfreinigende werking van de bodem worden benut.

Daarnaast kan door zeespiegelstijging extra kweldruk in het westen van het land ontstaan waardoor er meer verzilting op kan treden.

<sup>1</sup> <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20210127-1>, benaderd 12-4-2022

## CHEMISCHE STOFFEN

Eén van de kenmerken van het antropoceen is een toenemende afhankelijkheid van chemische stoffen. Het aantal stoffen dat door de industrie wordt geproduceerd stijgt nog jaarlijks. Stoffen die worden gemaakt komen vaak ook in het milieu terecht. Dit grote aantal stoffen dat potentieel in het milieu komt kan leiden tot de vergrijzing die eerder in dit rapport is besproken.

Het is moeilijk voor te stellen dat deze trend om meer stoffen te produceren snel omkeert. Tegelijkertijd heeft de EU wel beleid geformuleerd 'towards a zero pollution'. Daarmee wordt beoogd niet zozeer het gebruik als wel de emissie van stoffen te verminderen door een systeemtransitie in te zetten.

Bovengenoemde maatschappelijke ontwikkelingen hebben invloed op grondwaterkwaliteit en daarmee op de kwaliteit van bronnen van drinkwater voor volgende generaties. Geïdentificeerde bedreigingen van de grondwaterkwaliteit dienen te worden aangepakt wil die grondwatervoorraad bruikbaar blijven. Voor mogelijke bedreigingen is het voorzorgsprincipe zoals vastgelegd in EU-regelgeving een belangrijk handvat om bij twijfel van bepaalde activiteiten af te zien. We denken nu bijvoorbeeld dat veel stoffen in hele lage concentraties geen gevaar voor de gezondheid zijn. Maar als later mocht blijken dat dit genuanceerder ligt, terwijl het grondwater al veel stoffen bevat, dan is het niet meer mogelijk in te grijpen bij de bron of in het pad, maar zal behandeling bij de receptor (drinkwaterzuivering) nodig zijn. En verwijdering van veel stoffen in lage concentraties is moeilijker en daardoor duurder dan dat dit het geval is voor weinig stoffen in hoge concentraties.

## ▶▶ 5 HANDELINGSPERSPECTIEVEN

### 5.1 INLEIDING

#### 5.1.1 Doel

Het doel van dit hoofdstuk, Handelingsperspectieven, is om mogelijkheden te inventariseren om vergrijzing zo veel mogelijk tegen te gaan. Het betreft verschillende typen handelingsperspectieven, van initiatieven die stakeholders zelf op kunnen pakken tot adviezen ter verbetering van regelgeving.

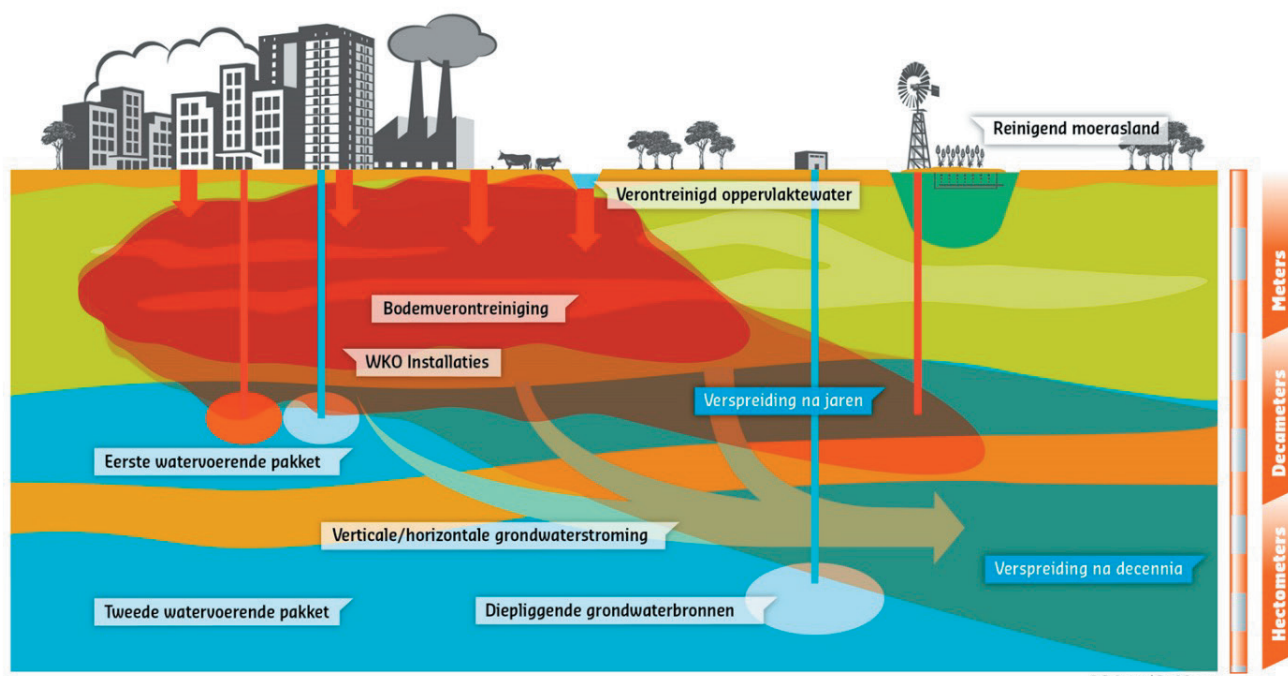
#### 5.1.2 Opzet voor handelingsperspectieven

Omdat het voor de mogelijkheden voor ingrijpen veel uitmaakt waar in het verspreidingstraject een stof zich bevindt, wordt voor de handelingsperspectieven een verschil gemaakt tussen aanpak bij de bron, in het pad en bij de receptor. In het algemeen is ingrijpen bij de bron het meest effectief en het meest kostenefficiënt. Of ingrepen in het pad of bij de receptor kostenefficiënt plaats kan vinden hangt sterk af van de lokale omstandigheden. Dat is bijvoorbeeld afhankelijk van de diepte waarop de verontreiniging zich bevindt, van het type stof (de stoffeigenschappen), het verontreinigingstype (diffuus of lokaal), de inrichting en het landgebruik van het gebied en van de geohydrologische karakterisering van de locatie (kwel, infiltratie). Hiermee wordt bij de kansrijkheid van handelingsperspectieven rekening gehouden.

Een schematisch overzicht van bronnen, paden en receptoren, dat inzicht geeft in aangrijpingspunten voor handelingsperspectieven is weergegeven in [Figuur 30](#).

### FIGUUR 30

*Illustratie van bronnen, paden en receptoren Een schematisch overzicht van bronnen, paden en receptoren, dat inzicht geeft in aangrijpingspunten voor handelingsperspectieven*



Om het hoofdstuk Handelingsperspectieven compleet te maken, zijn bovendien de handelingsperspectieven uit de Deltafacts hier opgenomen die gericht zijn op het optimaliseren of het voorkomen van aantasting van de barrières, die grondwater beschermen.



### 5.1.3 Type stoffen

Voor de beschrijving van vergrijzing werden vier stofgroepen beschouwd:

- bestrijdingsmiddelen;
- meststoffen (nutriënten);
- historische verontreinigingen;
- opkomende stoffen.

Voor het identificeren van handelingsperspectieven wordt een meer genuanceerde indeling in stofgroepen gevolgd, zoals weergegeven in Tabel 5. Hierin zijn tevens de verontreinigingskenmerken van de stofgroepen weergegeven.

**TABEL 5**

*indeling in stofgroepen en corresponderende verontreinigingskenmerken*

Meest relevante stofgroepen	Verontreinigingskenmerken
Bestrijdingsmiddelen	Nieuw, grote oppervlakten (weilanden (in mindere mate), bouwland, kassen)
Meststoffen	Nieuw, grote oppervlakten (weilanden, bouwland) en diffuus (atmosferische neerslag)
Chloorkoolwaterstoffen	Historisch in binnensteden (wasserijen)
Aromaten en alifaten	Historisch in binnensteden (garages, benzinepompen)
Cyanide en fenolen	Historisch (gasfabrieksterreinen)
Zware metalen	Historisch (o.a. stortplaatsen). Diffuus, via atmosferische depositie
Medicijnresten en antibiotica	Veelal nieuw, soms ook historisch, via (lekkende en overstortende) riolen en oppervlaktewater
PFAS	Nieuw, ten dele ook historisch, diffuus (atmosferische neerslag)

## 5.2 UITWERKING HANDELINGSPERSPECTIEVEN BIJ DE BRON

### 5.2.1 Duiding bron

Voor de bron voor stoffen in grondwater is een aantal mogelijkheden:

- Een emissie op of in de onverzadigde laag van de bodem, die later in een emissie in grondwater kan resulteren door uitloging (paragraaf 1.2.2). Deze categorie is onder te verdelen in bewuste en onbewuste toevoeging van stoffen. Een voorbeeld van bewuste toediening is die van bestrijdingsmiddelen op de bodem of een industriële lozing op de bodem. Een voorbeeld van onbewuste toevoeging van stoffen is die ten gevolge van atmosferische depositie of uitloging uit restmaterialen.
- Een reeds bestaande verontreiniging in de onverzadigde laag van de bodem, die later in een emissie in grondwater kan resulteren door uitloging of reeds resulteert (paragraaf 1.2.3).
- Onbekende bronnen. Hieronder vallen emissies van opkomende stoffen (paragraaf 1.2.4).
- Een emissie direct in grondwater door een externe bron (bijvoorbeeld via een lekkend of overlopend (bedrijfs-)riool of een drainerend oppervlaktewater) (paragraaf 1.2.5).
- Een emissie direct in grondwater door aangrenzend verontreinigd grondwater (bijvoorbeeld via een naburige grondwaterpluim of via een drijf- of zaklaag) (paragraaf 1.2.6).

Voor deze verschillende mogelijkheden voor bronnen voor stoffen in grondwater bestaan uiteenlopende typen handelingsperspectieven, die in de volgende paragrafen worden beschreven.

### 5.2.2 Een emissie op of in de onverzadigde laag van de bodem - menselijk handelen -

Voor een aantal stoffen is sprake van toediening van stoffen door bewust menselijk handelen. Dat geldt met name voor bestrijdingsmiddelen en meststoffen. Andere vormen van menselijk handelen waarbij stoffen op de bodem worden gebracht zijn opbrengen van zuiveringsslib, bagger en het dumpen van drugs-gerelateerd afval.

Omdat emissie meestal op de bodem plaatsvindt, gaat dit eigenlijk om een potentiële, vertraagde emissie voor grondwater. Uitloging uit de onverzadigde zone in het grondwater vindt namelijk niet altijd plaats ('potentiële emissie'), omdat bijvoorbeeld in geval van bestrijdingsmiddelen een groot deel afgebroken wordt in de onverzadigde zone. En van die stoffen die in het grondwater uitlogen is de concentratie vaak verminderd door afbraak en vindt uitloging later plaats dan inbreng op de bodem ('vertraagde emissie'). Methoden om de inbreng van stoffen voor de categorie stoffen met een emissie door menselijk handelen te verminderen zijn in te delen in vier categorieën:

- regelgeving;
- voorlichting;
- stimuleringsmaatregelen;
- diverse initiatieven.

### Bestrijdingsmiddelen

Bestrijdingsmiddelen worden op grote schaal op en in de bodem gebracht. Zo past men gewasbeschermingsmiddelen toe in de landbouw om gewassen te beschermen tegen ziekten en plagen. Biociden worden gebruikt voor desinfectie, voor conservering en voor het bestrijden van plaagdieren en andere schadelijke organismen buiten de landbouw. De negatieve gevolgen van bestrijdingsmiddelen voor mens en milieu, en dus voor grondwater, worden beperkt door het toelatingsbeleid. Toch wordt er een scala aan bestrijdingsmiddelen in ruwwater gemeten, waardoor een extra zuiveringsinspanning nodig is. In Swartjes *et al.* (2016) werden 43 maatregelen geresumeerd om de inbreng van bestrijdingsmiddelen in het bodem-water-systeem te verminderen. Deze maatregelen werden met behulp van experts gescoord op basis van effectiviteit en toepasbaarheid. Effectieve maatregelen uit de top-10 die tevens hoog scores op toepasbaarheid zijn de volgende:

- 'Verbod/beperking/vervanging specifieke stoffen (met hoog uitspoelingsrisico) in grondwaterbeschermingsgebieden' (al bestaande praktijk).
- 'Samen met stakeholders (landbouw, gemeenten, niet-agrarische bedrijven, bewoners) duurzaam landgebruik stimuleren'; regionale initiatieven als het project Schoon Water voor Brabant zijn perspectiefvol, maar breder uitrollen en continuïteit vormen aandachtspunten.
- 'Pre-teelt onkruidbestrijding (in grondwaterbeschermingsgebieden) alleen met sensispray (een geavanceerde spuit die heel nauwkeurig berekent welke hoeveelheid bestrijdingsmiddel er voor het gewas nodig is) en geen volveldsbehandeling'.
- 'Financiële incentives. Bijvoorbeeld beloning om in grondwaterbeschermingsgebieden chemievrij te werken/ heffing op risicovolle middelen en situaties; (GLB)subsidies koppelen aan milieuprestaties'.
- 'Toepassen intensievere handhaving door zowel Rijk als waterbeheerder'.

Twee maatregelen uit de top-11-20 die in combinatie zeer effectief zijn en die hoog scores op toepasbaarheid zijn:

- 'Analyse van de monitoringsgegevens (grondwaterkwaliteit) in het licht van de toelatingsprocedure om hiermee onacceptabele overschrijdingen gefundeerd bij het College voor de Toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden aan te kaarten'.
- 'Opstellen Atlas van bestrijdingsmiddelen in grondwater in Nederland'. De Atlas maakt inzichtelijk in welke gebieden welke stoffen problemen voor de drinkwaterproductie opleveren en geeft hiermee een beter houvast voor bestaand beleid en handhaving.

Ook is uitleg van het toelatingsbeleid voor bestrijdingsmiddelen nuttig. Het is namelijk niet zo dat als een stof toegelaten is, deze niet tot problemen (vergrijsing) in grondwater zal leiden. Inzicht bij agrariërs in het toelatingsbeleid kan tot een bewuster omgaan met het gebruik van bestrijdingsmiddelen leiden.

### Meststoffen

Gewassen hebben voedingsstoffen nodig om te groeien, die veelal uit mest, kunstmest en compost afkomstig zijn. Maar (te veel) mest op de bodem is niet goed voor het grond- en oppervlaktewater. Dat komt vooral door de stoffen stikstof en fosfaat (RVO, 2021). Nitraatafbraak door pyriet kan negatieve effecten hebben op de waterkwaliteit, door het vrijkomen van ijzer, sulfaat en sporenelementen. Rivieren en kanalen stromen door verschillende landen. Om de negatieve gevolgen van

meststoffen te beperken zijn Europese afspraken gemaakt, opgenomen in de Europese nitraatrichtlijn en in de kaderrichtlijn water. Hierin staat wat EU-landen moeten doen om hun doelen te halen. Deze doelen moeten voorkomen dat stoffen uit mest het grond- en oppervlaktewater vervuilen. Veel maatregelen die Nederland heeft genomen om de doelen van de richtlijnen te halen staan in de Meststoffenwet. Deze maatregelen zijn derhalve als verplichte handelingsperspectieven te beschouwen. Een selectie van maatregelen om de input van nitraat en fosfaat te verminderen is als volgt:

- gebruiksnormen voor mest;
- plafonds voor de productie van mest voor de pluimvee-, varkens- en melkveehouderij;
- controle van het mestoverschot: verwerking van mest buiten de agrarische sector (bijv. verbranding, export);
- minder uitspoelingsgevoelige gewassen (bijv. blijvend gras in plaats van mais);
- grondgebonden melkveehouderij;
- mineralenadministratie;
- vervoersregels.

Van groot belang is de vermindering van de inbreng van nitraat in grondwaterbeschermingsgebieden, om de kwaliteit van de bronnen van het drinkwater te beschermen. Vanuit deze invalshoek is er een gezamenlijke aanpak met medewerking van agrariërs, drinkwaterbedrijven en overheden, om de uitspoeling van nitraat naar grondwater te verminderen (Rijksoverheid, 2022). In december 2017 is deze aanpak bekrachtigd in een bestuursovereenkomst tussen LTO Nederland, Vewin, IPO en de ministeries van LNV en IenW. De basis van de aanpak is dat agrariërs per gebied bekijken welke maatregelen ze kunnen nemen om de uitspoeling te verminderen. De agrariërs worden bij het opstellen van maatregelen geholpen door het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer en door adviseurs die beschikbaar worden gesteld door het Rijk, de provincies en de drinkwaterbedrijven. De bedoeling is dat een boer in overleg met een adviseur van het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer-team een persoonlijk bedrijfsplan maakt: hoe zien de bedrijfsprocessen eruit, wat is de impact van mijn bedrijfsvoering op grondwater en wat kan ik anders doen? (Van Dongen, 2019). Maatregelen worden dus niet van bovenop opgelegd, maar samen met de boer bedacht." Belangrijk is dat het initiatief ook voordelen heeft voor de boer zelf. Verliezen van meststoffen door uitspoeling zijn immers een kostenpost voor de boer. En de boer krijgt een (nog) beter inzicht in de eigen bedrijfsvoering en de kwaliteit van de bodem. Er is dus sprake van wederzijds belang, wat de kans van slagen vergroot. Een persoonlijk bedrijfsplan is niet aan wetten gebonden, maar is een belangrijk initiatief.

Handelingsperspectieven om de uitspoeling van meststoffen in grondwater te verminderen zijn maatwerk. Een overzicht van kansrijke en samenhangende factoren die hierbij in beschouwing kunnen worden genomen is als volgt:

- keuze van het gewas en de gewasvolgorde:
  - akkerbouw versus grasland; de eerste heeft hogere uitspoeling van nitraat);
  - weide of maaipercelen; de eerste heeft hogere uitspoeling van nitraat);
  - type weide (in geval van gras-klover spoelt minder nitraat uit dan bij alleen gras; Prins *et al.*, 2010);
  - de groeiperiode; geheel of gedeelte van het jaar beschikbaar voor opname stikstof;
  - bewortelings-karakteristieken van gewassen;
- functie van het gebied (bijvoorbeeld Natura2000-gebied)
- kwetsbaarheid van de locatie (afhankelijk van bodemtype, grondwaterstand en hydrologische setting);
- mesttype, wijze van bemesten (drijfmest, stalmest, kunstmest);
- moment van bemesten;
- voorkomen van droogteschade;
- inrichting van zogenaamde vanggewassen, die ten doel hebben om na de oogst van het hoofdgewas achter gebleven nutriënten en later door mineralisatie vrijkomende nutriënten op te nemen
- instellen van stikstof- en fosfaatgebruiksnormen;
- groenbemesterverplichtingen na de teelt van maïs;
- grondbewerking (niet, ondiep of niet-kerend ploegen, niet of beperkt scheuren van grasland, verhogen van het organische stofgehalte in de bodem, waardoor zowel nutriënten als water langer door de bodem worden vastgehouden);
- bodembeheer; goede structuur, opbouw organisch stof, stimuleren bodemleven, goede pH.

Omdat het effect van de genoemde factoren een sterke samenhang vertoont, moet per locatie een slimme combinatie van deze factoren worden gekozen om tot een effectief handelingsperspectief te komen. Hierbij is het van belang de meest efficiënte combinatie van factoren en handelingsperspectieven te kiezen, zonder dat dit ten koste gaat van de opbrengst op de locatie. In de zandregio en zeker in het zuidelijk zandgebied en de lössregio wordt zelfs al beneden de economisch optimale gift bemest. Omdat teelten en omgevingsfactoren per jaar kunnen verschillen, dient deze combinatie van handelingsperspectieven regelmatig te worden geëvalueerd en herzien. Hierbij kan een agrariër hulp krijgen van een adviseur van het DAW-team (DAW staat voor Deltaplan Agrarisch waterbeheer (Van Dongen, 2019).

Er bestaan ook diverse regionale initiatieven om de kwaliteit van grondwater en oppervlaktewater te verbeteren. Een voorbeeld is het project Duurzaam Schoon Grondwater (LLTB, 2022). Dit is een project waarin boeren in grondwaterbeschermingsgebieden in Zuid-Limburg werken aan het terugdringen van de nitraatuitspoeling naar het grondwater binnen een rendabele bedrijfsvoering.

In Schipper *et al.* (2022) werd voor 25 maatregelen een overzicht gegeven van de kennis over de effectiviteit van maatregelen om uitspoeling in grondwater en afspoeling in oppervlaktewater te verminderen. De maatregelen werden ontleend aan wetenschappelijke publicaties uit Duitsland, Engeland, Noordwest-Europa en wereldwijd.

Om de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar water terug te dringen, worden agrariërs via het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer gestimuleerd maatregelen te nemen die zijn opgenomen in de zogenaamde BOOT-lijst die door het Bestuurlijk Overleg Open Teelten (BOOT) is vastgesteld. Deze lijst omvat meer dan 100 maatregelen. Voor agrariërs, landbouwadviseurs en waterbeheerders is het een moeilijke puzzel om met deze lijst slimme keuzes te maken voor effectieve maatregelen. Om dit te ondersteunen is door de kennisinstituten de GIS-tool Maatregelen op de Kaart-fase 2 ontwikkeld (Groenendijk *et al.*, 2021). Deze kaart geeft een locatie-specifieke inspiratielijst aan maatregelen: maatregelen worden alleen weergegeven als ze effectief en toepasbaar zijn gegeven de kenmerken van de percelen. Met behulp hiervan kunnen gericht en beter onderbouwde keuzes worden gemaakt en kunnen eenduidiger adviezen worden opgesteld.

Behalve de inbreng van nitraat vanuit de landbouw is de inbreng van stikstof vanuit verkeer, industrie en (intensieve) veehouderij een groot probleem. Dit probleem heeft met name aandacht gekregen vanuit de negatieve invloed op de natuur. Maar het uitgestoten stikstof dat op de bodem komt, kan ook tot uitspoeling naar het grondwater leiden.

De Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) had tot doel de vastgelopen vergunningverlening in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998 weer vlot te trekken. De PAS moest zorgen dat er in en rond de Natura 2000-gebieden weer ruimte zou komen voor economische ontwikkeling, terwijl tegelijkertijd wordt zeker gesteld dat de natuurkwaliteit in die gebieden behouden blijft of waar nodig beter wordt. Door een uitspraak van de Afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State van 29 mei 2019, mag het Programma Aanpak Stikstof (PAS) niet meer als basis voor toestemming voor activiteiten worden gebruikt. De vergunningverlening voor projecten is hierdoor grotendeels stil komen te liggen.

### Landbouwkundige praktijk

Voor het behalen van de doelen van de Nitraatrichtlijn en de KRW ligt nationaal gezien de grootste opgave bij de landbouw (Rijksoverheid, 2022). Op 26 november 2021 is het 7e actieprogramma Nitraatrichtlijn (hierna: 7e AP) vastgesteld (Kamerstuk 33 037, nr. 431). Het 7e AP richt zich met name op die gebieden en teelten waar de grootste problemen zijn voor de waterkwaliteit en richt zich daarmee op de hotspots (bouwland teelten op zand en löss).

Op 1 juli 2021 is de Wet Stikstofreductie en Natuurverbetering (Wsn) in werking getreden, waarmee de Wet Natuurbescherming is gewijzigd en straks de Omgevingswet zal worden gewijzigd. Hierin zijn belangrijke onderdelen van de structurele aanpak stikstof vastgelegd. In de integrale, gebiedsgerichte aanpak is extensivering van bedrijven en omschakeling naar duurzamere landbouwsystemen een expliciet onderdeel. De nadruk ligt op minder vee en minder mestdruk en, vanuit waterkwaliteit gezien, minder uitspoelingsgevoelige teelten. De opkoop en afwaardering van gronden zal zich dan ook niet alleen richten op veeteelt, maar ook op akkerbouw- en tuinbouwbedrijven op uitspoelingsgevoelige gron-

den. Daarbij wordt rekening gehouden met natuurlijk verloop in de sector. Er zullen gebieden zijn waar de opgave tot emissiereductie en natuurherstel dermate groot is dat met vrijwilligheid de doelen niet tijdig gehaald kunnen worden. Om doelen tijdig te kunnen halen is gedwongen opkoop een mogelijkheid, nadat andere mogelijkheden ontoereikend zijn gebleken. Bij de opkoop en beëindiging van veehouderijbedrijven worden de productierechten (fosfaat-, varkens- en pluimveerechten) ingenomen en doorgehaald. Hierdoor zal de omvang van de veestapel en daarmee ook de productie van dierlijke mest afnemen.

In meer algemene zin valt te overwegen om specifieke voordelen voor milieuvriendelijke boeren te formaliseren, bijvoorbeeld in het Gemeenschappelijk landbouwbeleid. Momenteel is via het Gemeenschappelijk landbouwbeleid een vergoeringsbetaling aan te vragen, indien aan de drie vergroeningseisen. Bij iedere vergroeningseisen wordt voldaan, gericht op:

- gewasdiversificatie;
- ecologisch aandachtsgebied;
- blijvend grasland.

Buiten bestrijdingsmiddelen zou moeten worden nagegaan wat de normen voor hulpstoffen in bestrijdingsmiddelen en meststoffen zijn. Hierbij valt te denken aan een stof als EDTA.

Milieuvriendelijker boeren kan eveneens het verhogen van het gehalte organische stof behelzen, waarmee een gezondere bodem wordt gecreëerd die meer nutriënten kan vasthouden. Bovendien zal dat de uitspoeling van bestrijdingsmiddelen remmen. Daarnaast kan gekeken worden naar de mogelijkheden nitraat te benutten voor de afbraak van bestrijdingsmiddelen. Dit zijn initiatieven die zowel het grondwater kunnen beschermen, als (financiële) voordelen voor de boer kunnen opleveren.

De afgelopen jaren zijn diverse tools ontwikkeld om agrariërs te stimuleren maatregelen te nemen die bijdragen aan de DAW-doelen. Deze studie, onderdeel van het KIWK-project Nutriënten, beschrijft en evalueert de tien meest gebruikte instrumenten en beoogt daarmee richting te geven aan een verdere samenwerking tussen ontwikkelaars en een mogelijke integratie van de tools (Ros *et al.*, 2020). Het is aangetoond dat gedragsbeïnvloeding gericht op verandering van mestgebruik en nutriëntenmanagement beter gaat wanneer sprake is van bewuste beïnvloeding (De Wit-De Vries en Krijgsman, 2021).

Het systeem van pacht kan ertoe leiden dat de pachter eerder investeert in intensivering van de oogt, die de bodem uitput, dan in duurzaam bodembeheer. Dit kan leiden tot een hogere belasting van het grondwater. De regelgeving rondom pacht zou daarom geevalueerd moeten worden.

### **Infiltratiebesluit**

Bij de vergunningverlening door de Waterwet moeten de voorschriften Infiltratiebesluit bodembescherming in acht worden genomen, teneinde bij het infiltreren van water verontreiniging van het grondwater tegen te gaan (Kenniscentrum InfoMil, 2022). Hierbij is infiltratie als volgt gedefinieerd in de Waterwet: 'in de bodem brengen van water, ter aanvulling van het grondwater, in samenhang met het onttrekken van grondwater'. Voor de toetsing van de waterkwaliteit zijn in het Infiltratiebesluit stoffen vastgesteld met maximaal toelaatbare concentraties ([bijlage 1](#) bij het Infiltratiebesluit bodembescherming). De keuze van stoffen en de vaststelling van de maximaal toelaatbare concentraties vonden in 1993 plaats. De stofselectie en de afleiding van de maximaal toelaatbare concentraties zou moeten worden geactualiseerd.

### **5.2.3 Reeds bestaande verontreiniging in de onverzadigde bodemlaag**

In het stedelijk gebied zijn veel bodems in Nederland verontreinigd, alhoewel afgelopen 35 jaar veel bodems zijn onderzocht, gesaneerd of beheerst en het aantal verontreinigde bodem aanzienlijk afgenomen is. Het gaat hierbij meestal om 'historische verontreinigen'. Dat zijn stoffen die voor 1987 in of op de bodem gebracht zijn, veelal als onderdeel van puntbronnen van antropogene (vaak: industriële) oorsprong. In Nederland zijn ongeveer 53 duizend locaties gesaneerd (schatting uit Swartjes en Gadella, 2022). Tegenwoordig zijn bijna alle locaties met de beoordeling 'spoed vanwege humane risico's' en spoed 'vanwege verspreidingsrisico's' gesaneerd of beheerd, zodat het aantal verontreinigde bodems sterk afgenomen is.

De methoden om de inbreng van stoffen voor de categorie 'stoffen met een bron in de onverzadigde bodemlaag' te verminderen zijn in vergelijkbare categorieën in te delen als die voor emissies met menselijk handelen (wetgeving, voorlichting, stimuleringsmaatregelen en diverse initiatieven). Echter is de antropogene inbreng van stoffen al sinds 1987 beperkt, mede door de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming (NRB) (Bodem+, 2022). Vanaf dat jaar mogen er geen stoffen meer in of op de bodem worden gebracht (Wet bodembescherming). De NRB geeft voor bodembedreigende bedrijfsmatige activiteiten een beschrijving van geschikte combinaties van voorzieningen en maatregelen. Dit is een effectief beleid voor industriële verontreinigingen.

In de huidige procedure voor het beoordelen van bodem- en grondwaterverontreinigingen volgens de Wet bodembescherming zijn een aantal elementen, die bijdragen aan vergrijzing van grondwater, zoals hieronder weergegeven:

- De beoordeling van de kwaliteit van de bodem vindt plaats op basis van interventiewaarden. De interventiewaarden voor bodem zijn gebaseerd op risico's voor mens en ecosystemen. Omdat uitloging in grondwater geen criterium is bij de afleiding van de interventiewaarde, zijn er verontreinigde locaties die geen onaanvaardbaar risico voor de mens of het ecosysteem vormen, en dus niet als ernstig worden bestempeld, maar wel tot uitloging in het grondwater kunnen leiden.
- Er zijn ruim 40 duizend verontreinigde locaties, die het predicaat 'ernstig, maar geen spoed' hebben (Swartjes en Gadella, 2022). Dit is een combinatie van bodem- en grondwaterverontreinigingen. Deze locaties moeten worden gesaneerd op een passend moment, zoals in het geval dat er grond- of bouwwerkzaamheden plaatsvinden. Op basis van een grove schatting door de auteurs worden jaarlijks circa 2000 van dergelijk locaties aangepakt. De consequentie hiervan is dat er de komende decennia nog verspreiding (grondwaterverontreiniging) en uitloging in grondwater (bodemverontreiniging) plaatsvindt, vanuit een afnemend aantal verontreinigde locaties. Daarnaast zal een aantal van deze locaties niet worden gesaneerd, maar beheerd. Dit is mogelijk, indien daarmee humane en ecologische risico's worden voorkomen. Maar in een deel van deze gevallen, als grondwater geen specifieke aandacht in het omgevingsplan heeft gekregen, kan uitloging nog steeds plaatsvinden
- Er zijn nog enkele honderden locaties met de beoordeling 'spoed vanwege ecologische risico's' en locaties met de beoordeling 'spoed vanwege verspreidingsrisico's'. Deze moeten in principe binnen enige jaren gesaneerd worden.
- Daarnaast is een onbekend aantal verontreinigingen waar wel normen (interventiewaarden) worden overschreden in bodem of grondwater, maar niet aan het volumecriterium wordt voldaan (25 m<sup>3</sup> voor bodem; en 100 m<sup>3</sup> voor porieverzadigde ondergrond). Deze verontreinigingen worden niet als ernstig bestempeld (met of zonder spoed is dan niet aan de orde). Alhoewel het dus telkens om relatief kleine volumina gaat, betreft het in totaal een aanzienlijke massa aan stoffen, die zich verplaatst in grondwater (grondwaterverontreiniging) of uitloopt in grondwater (bodemverontreiniging).
- Bij grondverzet mag de kwaliteit van het aangebracht bodemmateriaal (gerelateerd aan 'kwaliteit Wonen' of 'kwaliteit Industrie' niet slechter zijn dan de ontvangende bodem. Hierbij wordt echter geen rekening gehouden met mogelijke uitloging. Omdat het echter vaak om gebiedseigen grond gaat, zal de netto uitloging binnen een gebied vaak niet veranderen.
- (Spoed)locaties die niet zijn gesaneerd, maar beheerd, kunnen in sommige gevallen nog steeds uitloging vertonen.
- Uitloging kan plaatsvinden uit nazorglocaties van bodemsanering, stortplaatsen en IBC-werken onder Bsb en Bbk. Het moet voorkomen worden dat waterpeilverhoging plaatsvindt in gebieden met IBC-locaties, zodat de verontreinigingen vanuit de IBC-locaties weg kunnen stromen.
- Er bestaan nog steeds niet geïdentificeerde locaties, waarbij sprake is van historische verontreinigen en uitloging plaatsvindt.

Bij het definiëren van beheer van verontreinigde locaties zou rekening moeten worden gehouden met uitloging van de bodem naar grondwater. Dat is op dit moment niet als criterium opgenomen. Daarnaast moet voor de locaties met het predicaat 'ernstig, maar geen spoed' altijd aandacht worden besteed aan het tegengaan van uitloging.

De vraag is of er in deze procedure veranderingen komen als de Omgevingswet van kracht wordt. Om na te gaan of een wijziging van de procedure zinvol is, wordt aangeraden de impact van bovengenoemde elementen op de vergrijzing van grondwater te onderzoeken en passend beleid hiervoor te formuleren.

#### 5.2.4 Een immissie direct in grondwater door een externe bron

Handelingsperspectieven voor een directe emissie uit een lekkend of overlopend riool of stortplaats zijn gericht op detectie, handhaving en onderhoud. Een situatie waarbij oppervlaktewater infiltrert en daarmee contaminanten in het grondwater brengt, kan soms worden voorkomen door peilbeheer. Dat kan bijvoorbeeld plaatsvinden als het grondwaterpeil in de zomer zakt en het oppervlaktewaterpeil hoger komt te liggen. Dan kan worden nagegaan of het grondwaterpeil (tijdelijk) kan worden verhoogd en/of het oppervlaktewaterpeil verlaagd. Afhankelijk van de topologie en de gebruiksfunctie van het land en van de waterloop zijn in veel gevallen de mogelijkheden hiertoe beperkt.

#### 5.2.4 Een immissie direct in grondwater door aangrenzend verontreinigd grondwater

Verontreinigd grondwater is een bron voor verontreiniging van aangrenzend schoon grondwater. Tijdens transport verplaatst een grondwaterpluim zich, waarbij door diffusie en dispersie het verontreinigd grondwatervolume toeneemt. Ook voor drijf- en zaklagen geldt dat aangrenzend schoon grondwater verontreinigd kan worden door oplossing. Dit moet aandacht krijgen in de beoordeling van de grondwaterkwaliteit.

#### 5.2.6 Overzicht

Een overzicht van verontreinigingskenmerken van bronnen en handelingsperspectieven aan de bron is gegeven in [Tabel 6](#).

### 5.3 UITWERKING HANDELINGSPERSPECTIEVEN IN HET PAD

#### 5.3.1 Barrières

Verspreiding van verontreinigingen wordt in de bodem tegengegaan door een drietal typen barrières:

- Fysieke barrières zoals kleilagen en omhoog kwellend grondwater.
- Chemische barrières, zoals de adsorptiecapaciteit van de bodem en redoxcondities die leiden tot neerslagen.
- Biologische barrières, die leiden tot afbraak, meestal met oxidatieve omzettingen in de onverzadigde zone, reductieve processen in organischestofrijke holocene bodems en veel via de anaerobe oxidatieve route en micro-aërobiele bacteriën in watervoerende pakketten.

Problemen ontstaan als deze barrières onvoldoende soelaas bieden. Dat is het geval als bijvoorbeeld kleilagen ontbreken of de verontreinigingslast te groot is ten opzichte van de capaciteit ten aanzien van vastlegging en afbraak. Dit heeft ook met de gezondheid van de bodem te maken. Zo kan bijvoorbeeld een olieverontreiniging in een natuurgebied met een florierend ecosysteem soms gemakkelijk worden afgebroken voordat deze diep de bodem indringt, terwijl eenzelfde verontreiniging in een industriegebied zich ongehinderd in verticale en horizontale richting in de bodem verspreidt. Niet alleen op maar ook in de bodem ontplooit de mens activiteiten die de verspreiding van verontreinigingen kunnen bevorderen, zoals bijvoorbeeld het doorboren van slecht-doorlatende bodemlagen voor heipalen en bodemenergiesystemen.

#### 5.3.2 Ingrepen

Voor het tegengaan van verspreiding van verontreinigingen zijn ingrepen nodig om aantasting van de barrières te voorkomen of verminderen of de barrières juist te versterken of aan te vullen met extra voorzieningen. Zo zijn veel locaties met puntbronnen van verontreinigingen in het verleden aangepakt door middel van isoleren, beheren en controleren (IBC). Vaak zijn verontreinigde volumes ingepakt met behulp van damwanden, wordt grondwater onttrokken en wordt gemonitord of geen verontreiniging ontsnapt. Dit gebeurt veelal dicht bij de verontreinigingsbron, maar saneringen op basis van een geohydrologische beheersing kunnen zich ook op de verontreinigingspluim richten. Omdat dergelijke maatregelen in principe eeuwigdurend zijn, en derhalve veel nazorg vereisen, verdienen andere oplossingen tegenwoordig de voorkeur. Nu de kennis ten aanzien van geochemische en biologische processen in de bodem in de afgelopen decennia sterk is toegenomen, kan deze worden aangewend om verontreinigingen te immobiliseren en af te breken. Zo kunnen redoxcondities worden aangepast om het ontstaan van stabiele neerslagen te bevorderen en afbraak te stimuleren. Voor dit laatste moet worden gedacht aan het inbrengen van bijvoorbeeld:

- zuurstof voor aerobe oxidatieve afbraak;
- nitraat voor anaerobe oxidatieve afbraak;
- organische stof voor reductieve afbraak;

**TABEL 6**

Overzicht van verontreinigingskenmerken van bronnen en handelingsperspectieven aan de bron.

Stofgroepen	Verontreinigings-kenmerken	Analyse bron	Ingrepen bij bron
Bestrijdingsmiddelen	actueel Milieu-vreemde stoffen Grote arealen: cultuurgronden (akkerbouw, tuinbouw, gras-mais) Bronnen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Toepassing landbouw: cultuurgronden (akkerbouw, tuinbouw, gras-mais)</li> <li>• Toepassing glastuinbouw (kassen)</li> <li>• Toepassing niet-landbouw: (particulieren, wegen, spoor, ..)</li> </ul> Emissieroutes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uitspoeling na toepassing op het land, atm. depositie / verwaaiing</li> <li>• Uitspoeling van water dat afspoeling van verharde oppervlakken (boeren erf, wegen, e.d.)</li> <li>• Wegzijing vanuit watergangen naar het grondwater</li> </ul>		Dosering optimaliseren, alleen snel afbreekbare middelen toelaten, bodem gezond en intact houden
Meststoffen	Actueel Van nature aanwezig Diffuus Grote arealen Bronnen en emissieroutes: zoals hierboven (denk ook aan sportvelden en golfbanen)		Dosering afstemmen op benutting in de bovengrond, bodem gezond en intact houden, mestoverschot terugdringen, gewaskeuze.
Zware metalen	Van nature aanwezig Diffuus en puntbronnen Actueel Bronnen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puntbronnen: Historische bodemverontr</li> <li>• Diffuse verontreiniging Kempen (zinkassen), verkeer, industrie</li> <li>• Uitloging materialen (stedelijk, infra)</li> <li>• Aanwezig in mest</li> </ul> Verhoogde mobilisatie in de bodem en ondergrond (pyriet oxidatie oiv nitraatuitspoeling, verzuring, ontwatering)		(Conventioneel) saneren (locale bodemverontreiniging). Bodembeheer (bijvoorbeeld pH-regulatie) (diffuse bodemverontreiniging)
Chloorkoolwaterstoffen	Historisch in binnensteden (wasserijen)		(Conventioneel) saneren
Aromaten en alifaten	Historisch in binnensteden (garages, benzinepompen)		(Conventioneel) saneren
Cyanide en fenolen	Historisch (gasfabrieksterreinen)		(Conventioneel) saneren
Medicijnresten en antibiotica	Actueel Emissieroutes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lekkage riolen</li> <li>• Wegzijing vanuit waterlopen</li> </ul>		Verstandig gebruik stimuleren, inzamelen, bij toelating afbreekbaarheid in milieu meewegen
PFAS	Nieuw, ten dele ook historisch, diffuus (atmosferische neerslag)		Niet meer gebruiken; in geval historisch: (conventioneel) saneren overwegen)

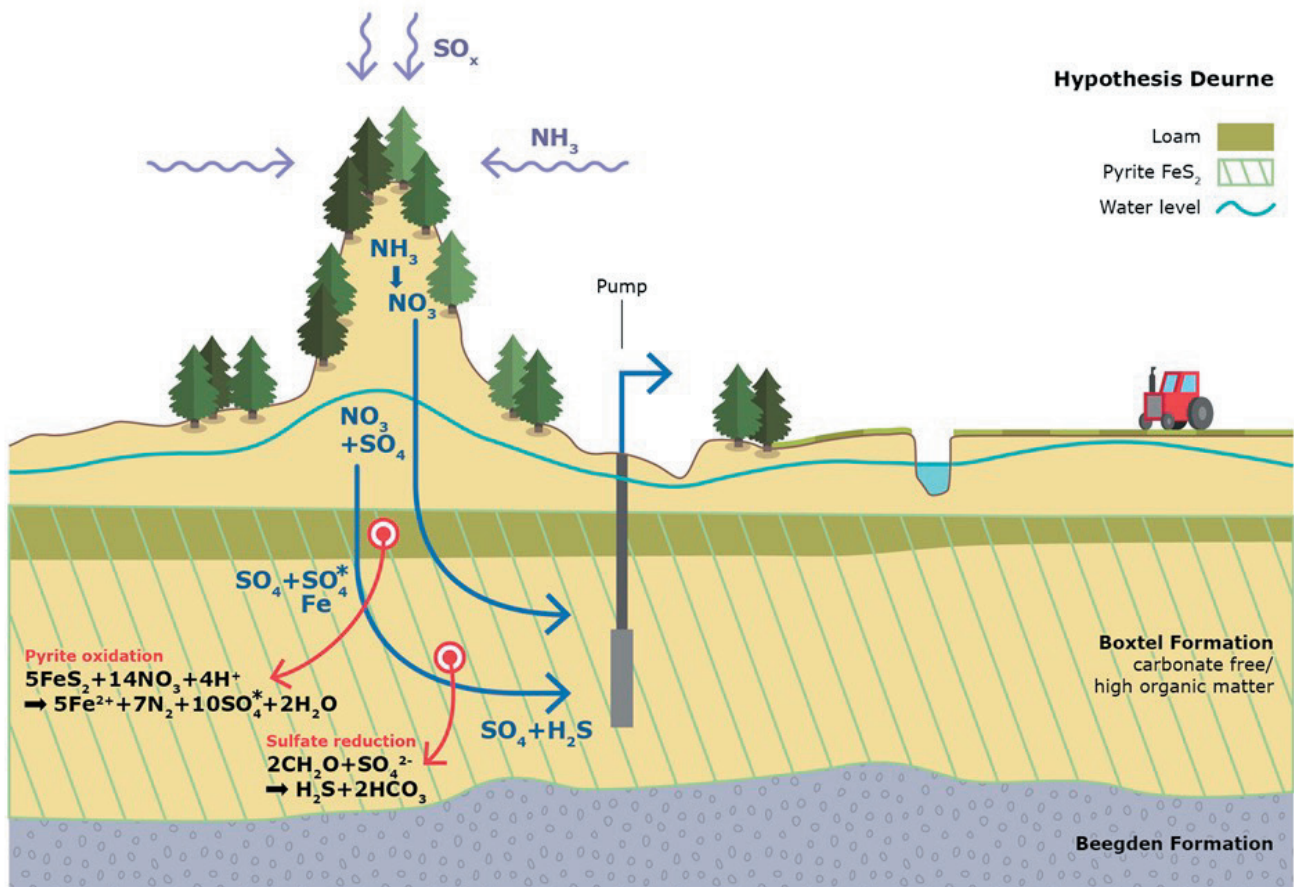


- nutriënten om de groei van de juiste organismen te bevorderen;
- organismen waarvan bekend is dat ze de gewenste omzettingen uitvoeren.

In het algemeen zullen deze maatregelen voornamelijk in de holocene deklaag (de bovengrond), veelal dicht bij de bron, technisch en financieel haalbaar zijn. Als verontreinigingen eenmaal naar het watervoerend pakket zijn gezegen, zijn ze minder gemakkelijk onschadelijk te maken. Bovendien zijn intensieve maatregelen alleen financieel haalbaar bij puntbronnen, die meestal in de bebouwde omgevingen worden aangetroffen, niet bij diffuse verontreinigingen met bijvoorbeeld bestrijdingsmiddelen en meststoffen in het buitengebied.

### FIGUUR 31

Voorbeeld van complexe processen in de ondergrond. Ammoniakemissies, afkomstig van agrarische bronnen, kunnen met atmosferische depositie van sulfaat, afkomstig van bijvoorbeeld verkeer, in interactie met pyriet in de bodem waterstofsulfide produceren dat bij gebruik van waterputten tot problemen kan leiden. Bron: TNO



Voor stoffen die zich reeds in verticale richting over decameters en in horizontale richting over hecto- en kilometers hebben verplaatst, is het meestal niet rendabel deze nog actief te saneren. Wel wordt de verspreiding van deze stoffen gemodelleerd en worden de uitkomsten daarvan geverifieerd door monitoring. Voor diffuse verontreinigingen is er een landelijk meetnet grondwaterkwaliteit en in stedelijke gebieden met verontreinigingspluimen zijn er wel plaatselijke meetnetten ten behoeve van gebiedsgericht grondwaterbeheer, waarmee de ontwikkeling van verontreinigingsconcentraties in de tijd wordt gevolgd. Dit geldt uiteraard alleen voor bekende stoffen. De opkomende stoffen, stoffen waarvoor geen beleid is en geen normen bestaan blijven bij de monitoring veelal buiten beschouwing. Verder worden vaak nog geen procesparameters (= parameters die inzicht geven in de fysische, chemische en biologische processen in de bodem) mee-

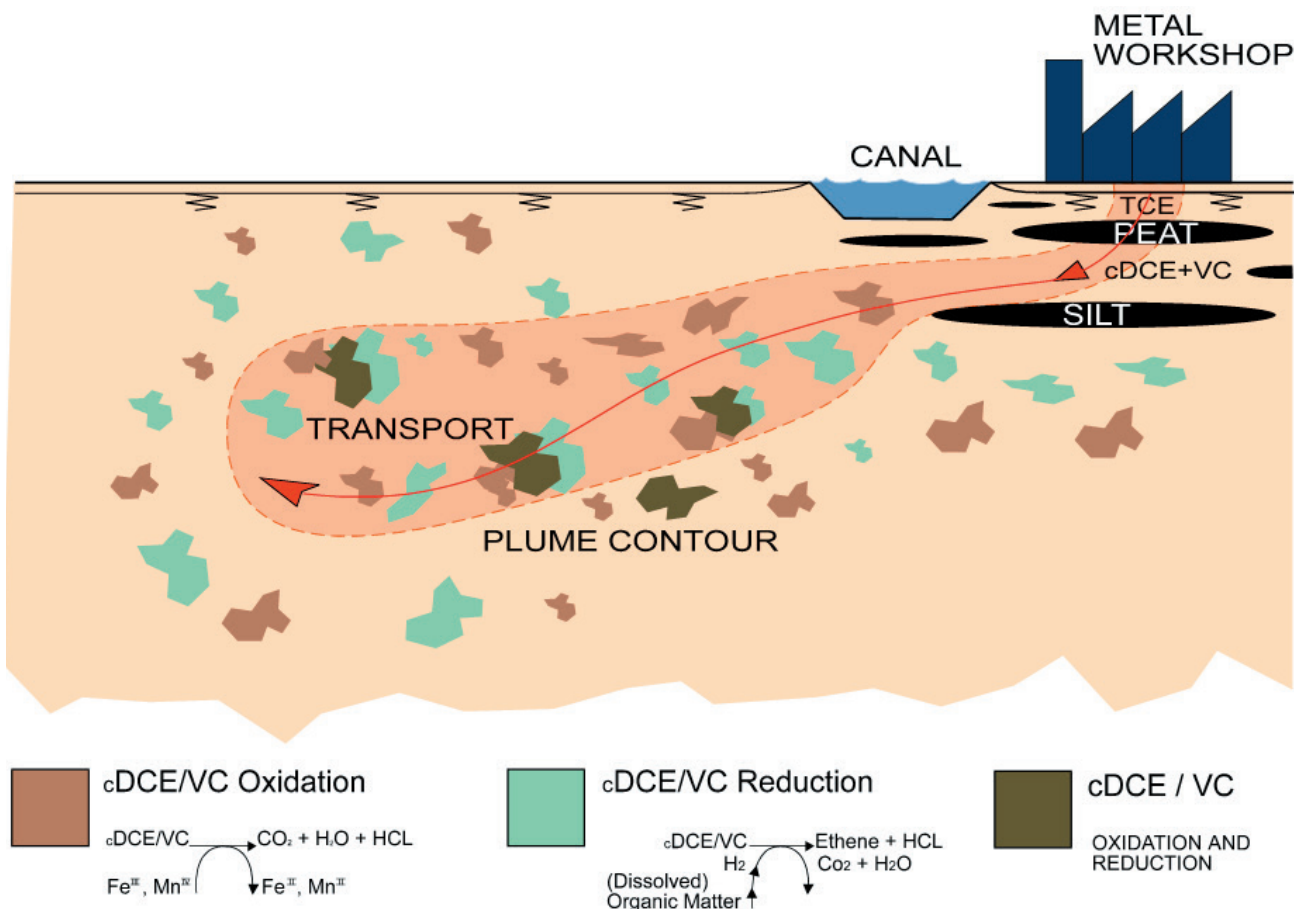
genomen. Daarmee kan worden ingeschat of de betreffende stoffen worden geïmmobiliseerd of afgebroken, waardoor ze niet meer bij zouden dragen aan de verdere vergrijzing van het grondwater. Procesparameters die het succes van de afbraak en immobilisatie bepalen zijn bijvoorbeeld:

- redoxparameters om te bepalen of de juiste condities voor afbraak aanwezig zijn;
- meer specifiek de concentraties zuurstof, nitraat, ijzer, arseen en sulfaat en bicarbonaat in grondwater om te bepalen welke elektronenacceptoren beschikbaar zijn voor de vereiste omzettingen;
- opgeloste organische stof om zo nodig als elektronendonor te dienen;
- adsorberende bestanddelen in de bodem die stoffen vast kunnen houden;
- voldoende aanwezigheid van de juiste micro-organismen;
- toereikende voorraad van nutriënten voor vitale microbiële populaties;
- isotopenverschuivingen om te verifiëren dat de mogelijke omzettingen ook daadwerkelijk plaatsvinden.

De **Figuren 31 en 32** geven illustraties van vaak complexe processen die in de ondergrond kunnen optreden en die begrepen moeten worden om de juiste handelingsperspectieven te bepalen.

### FIGUUR 32

Voorbeeld van complexe processen in de ondergrond. Een gelekte chloorkoolwaterstoffenverontreiniging wordt aanvankelijk in de bovengrond, die rijk is aan organische stof, omgezet in lager gechloroerde koolwaterstoffen, maar in het watervoerend pakket stagneert de afbraak. Deze vindt daar alleen nog stapsgewijs plaats in niches met specifieke omstandigheden. Bron: TNO

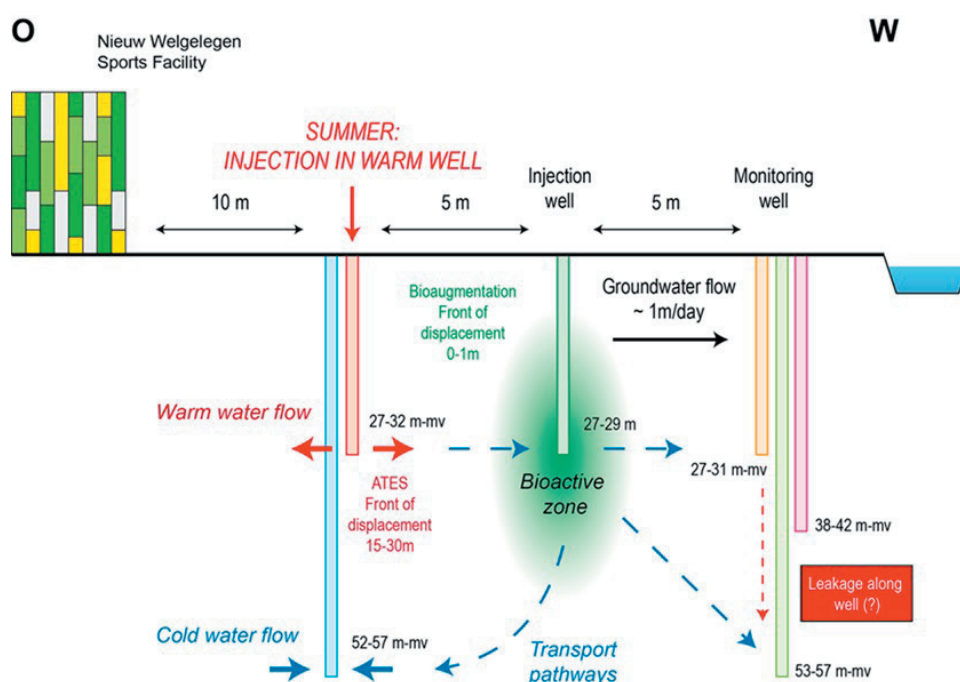


Indien blijkt dat immobilisatie en afbraak de verspreiding niet of onvoldoende tegengaan, zijn maatregelen nodig. Tot op heden omvat gebiedsgericht grondwaterbeheer in de bebouwde omgeving meestal alleen monitoring van verontreinigingsconcentraties en eventueel bronverwijdering. Als de monitoringsresultaten daar aanleiding toe geven, zou dit kunnen worden uitgebreid met monitoring van biogeochemische procesparameters en betaalbare extensieve sanerings- en beheersmaatregelen. Dat zou bijvoorbeeld efficiënt kunnen zijn in samenhang met ingrepen in de bodem, zoals bij het toepassen van bodemenergie. Daarbij wordt immers steeds water heen en weer gepompt. Dit kan enerzijds de verspreiding van verontreinigingen faciliteren, vooral als bij de aanleg van de systemen de fysieke barrière is aangetast door het doorboren van slechtdoorlatende bodemlagen (hoewel regelgeving hierin voorziet). Maar anderzijds biedt het verpompen van grondwater mogelijkheden. Dit betreft grote hoeveelheden voor een zuiveringsinstallatie, maar als een deelstroom steeds zou worden gezuiverd, wordt het grondwater geleidelijk schoner. Ook kunnen toeslagstoffen worden toegediend om de afbraak te bevorderen. Hierbij moet worden gedacht aan stoffen die limiterend zijn voor de afbraak. Zo is er voor de afbraak van bijvoorbeeld gechloreerde koolwaterstoffen vaak een tekort aan elektronendonoren in de bodem, in de vorm van organische stof. Voor de afbraak van bijvoorbeeld olie en aromaten zijn vaak te weinig elektronenacceptoren zoals zuurstof, nitraat en sulfaat om de bodem aanwezig. Daarnaast kan worden gedacht aan het doseren van de juiste micro-organismen. Zie ook de opsomming aan het begin van deze paragraaf.

Bij de toediening in of bij bodemenergiesystemen moet er wel op worden gelet dat dit geen verstoppingen van de filters veroorzaakt. Dit en de meerkosten kunnen een obstakel vormen, temeer daar degene die de bodemenergie wil gebruiken vaak niet de verantwoordelijke partij voor de verontreinigingen is. Toch is dit een effectieve en rendabele manier om duurzaam energiegebruik te combineren met het verbeteren van de grondwaterkwaliteit. In [Figuur 33](#) is een schematische weergave van een geslaagde proef met bioremediatie in combinatie met toepassing van bodemenergie weergegeven, zoals toegepast in Utrecht, op basis van het zogenaamde WKO+-concept van Bioclear earth; zie [Figuur 33](#).

### FIGUUR 33

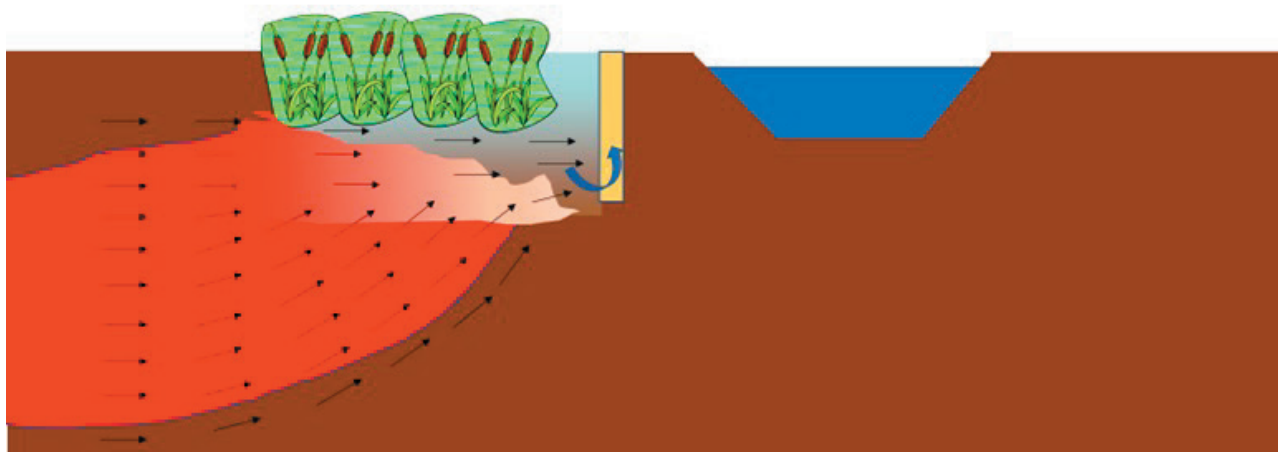
Schematische weergave van een geslaagde proef met bioremediatie in combinatie met toepassing van bodemenergie in Utrecht, op basis van het zogenaamde WKO+-concept van Bioclear earth. Hoewel ingewikkelde transportroutes in de bodem kunnen ontstaan, zorgt het periodiek heen en weer pompen van water tussen koude en warme bronnen voor een steeds opnieuw doorstromen van een reactieve zone waarin de vereiste micro-organismen zijn gedoseerd en/of waarin optimale condities worden gecreëerd voor afbraak van de betreffende verontreinigingen. Bron: Deltares.



In het buitengebied zijn er eveneens combinatiemogelijkheden die synergie opleveren. Zo moet door de klimaatverandering meer water worden vastgehouden. Dat kan in sloten en aan te leggen moerassen, waar het ondiepe freatische grondwater naar toe stroomt en de omstandigheden met behulp van bijvoorbeeld riet kunnen worden geoptimaliseerd voor het verminderen of verwijderen van bestrijdingsmiddelen en meststoffen (zie Figuur 34). In dat geval stimuleren meststoffen de rietgroei en het gevormde organisch materiaal dat in de (water)bodem terecht komt kan zo nodig als elektronendonor fungeren. Maar ook brengt riet zuurstof in de wortelzone, waardoor tevens een elektronenacceptor wordt toegevoegd. Door zowel toevoer van organisch materiaal als zuurstof ontstaat een grote diversiteit aan redoxcondities. Allerlei verschillende pesticideresten, die uiteenlopende eisen stellen aan de omstandigheden waaronder ze kunnen worden afgebroken, zullen daardoor de voor hen optimale afbraakcondities ontmoeten. Daarbij kunnen tevens bijkomende verdienmogelijkheden worden ontsloten, zoals gebruik van het riet voor biomassaverbranding en veevoer. Tevens kan in dit verband worden gedacht aan natte teelten, die nu ook worden getest als agrarisch alternatief voor de veenweiden die zullen moeten worden vernat om ze te kunnen behouden en verlies van organisch stof tegen te gaan. Het afvangen van sediment (met daarin fosfaat en metalen P, metalen draagt ook bij aan minder input van stoffen in het grondwater.

#### FIGUUR 34

Zuiverend rietveld op een strategische plaats aangelegd. Bron: Deltares.



Complexer is het aanpakken van verontreinigingen die al tot in de watervoerende pakketten zijn doorgedrongen. Actief oppompen en zuiveren van de al sterk verdunde en omvangrijke verontreinigingen zal in veel gevallen te kostbaar zijn.

Verontreinigingen in het stedelijk gebied en in intensief gebruikte landbouwgebieden zullen zich, als ze onvoldoende afbreken of worden vastgelegd, steeds verder verspreiden en in de toekomst steeds vaker drinkwaterbeschermingszones binnentreden, zoals nu ook al gebeurt. Ook de aangewezen strategische grondwatervoorraden zijn niet veilig. Het grondwater blijft immers altijd in beweging. Maar dat gebeurt wel langzaam, zodat er tijd is voor extensieve ingrepen die ook voor verontreinigingen in het watervoerende pakket rendabel kunnen worden uitgevoerd.

Te denken valt bijvoorbeeld aan herinrichtingswerkzaamheden voor klimaatadaptatie. Laagtes die worden gecreëerd voor het opvangen van water in natte tijden, om overstromingen te voorkomen, kunnen onder zodanige geohydrologische en geobiochemische omstandigheden worden aangelegd dat hier verontreinigd grondwater opkwelt en wordt gezuiverd. Zo kunnen sloten die natuurlijk zijn ingericht - breed, niet zo diep, gevarieerd - water vasthouden en daarmee de retentie vergroten en tegelijk de biodiversiteit bevorderen. Op grotere schaal kunnen ook beekdalen optimaal worden ingericht voor het afvangen en/of afbreken van verontreinigingen. Kunstmatiger, maar wel effectiever voor winteruitspoeling, zijn bioreactoren of kunstmatige reactieve barrières, bijvoorbeeld met houtsnippers (voor denitrificatie), ijzerzand (voor afvangen van fosfaat) of actieve kool (voor diverse organische verontreinigingen).

Zoals blijkt uit het voorgaande kan dit kleinschalig in bijvoorbeeld stedelijke groenvoorzieningen maar ook grootschalig in natuurgebieden stroomafwaarts van steden en landbouwgebieden. Zie [Figuur 35](#).

### FIGUUR 35

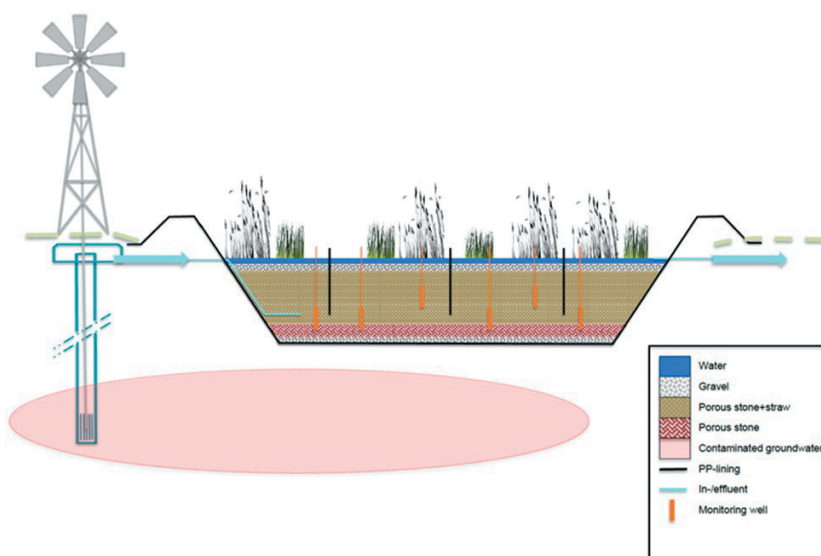
Zowel op het platteland als in de stad zijn genoeg geschikte plaatsen te vinden om zuiverende natuur of groenvoorzieningen te creëren, of bestaand groen daarvoor aan te passen. Bron: Deltares.



Indien vooral het diepere grondwater verontreinigd is en geen kwelsituatie kan worden gecreëerd, kan worden gedacht aan het gebruik van windpompen (zie [Figuur 36](#)) of het inzetten van bomen (zie [Figuur 37](#)). De zuigkracht van de wortels bij plaatsing in een ton met een buis tot in het watervoerende pakket kan heel effectief worden benut. Aan het landoppervlak kunnen de condities voor het verwijderen van de verontreinigingen relatief eenvoudig en goedkoop worden geoptimaliseerd. Het gezuiverde water kan weer infiltreren en zijn weg vervolgen.

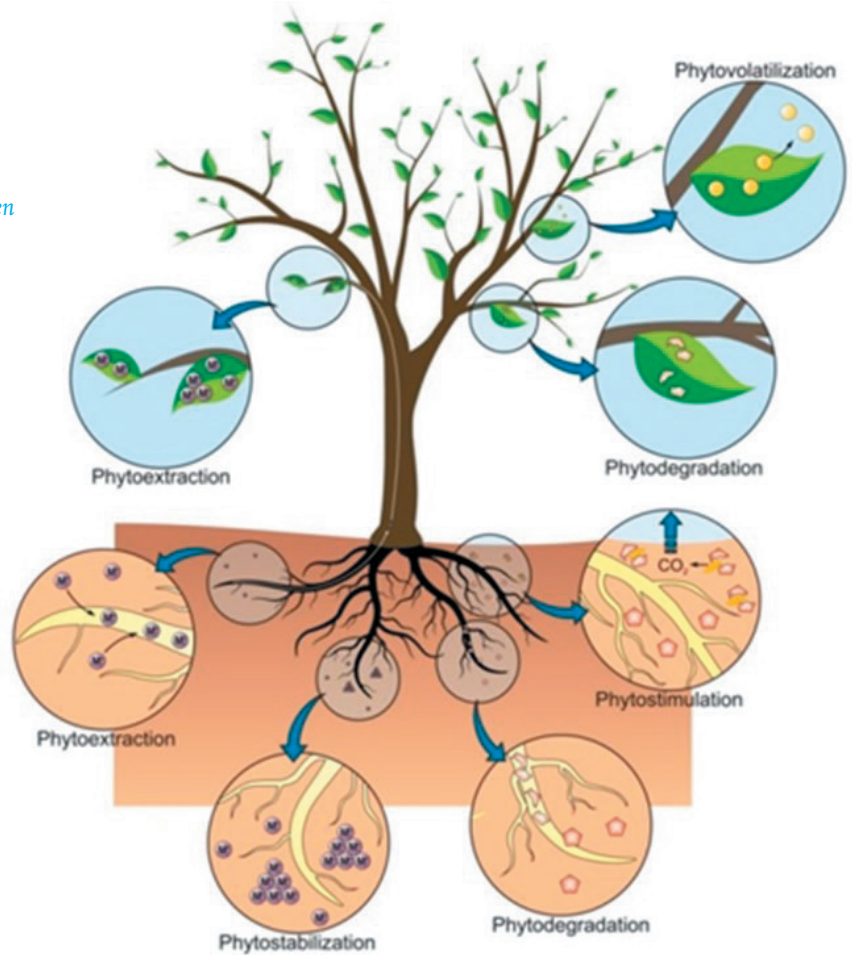
### FIGUUR 36

Helofytenfilter dat wordt gevoed door een windpomp ten behoeve van een bodemsanering van een met chloorkoolwaterstoffen verontreinigde locatie in Amersfoort (bron schematische weergave: HMVT) Bij dechlorering van hooggechlorideerde koolwaterstoffen heeft elke tussenproduct andere optimale condities voor afbraak. Deze worden gecreëerd in het helofytenfilter, zoals monitoring heeft aangetoond (foto Deltares).



**FIGUUR 37**

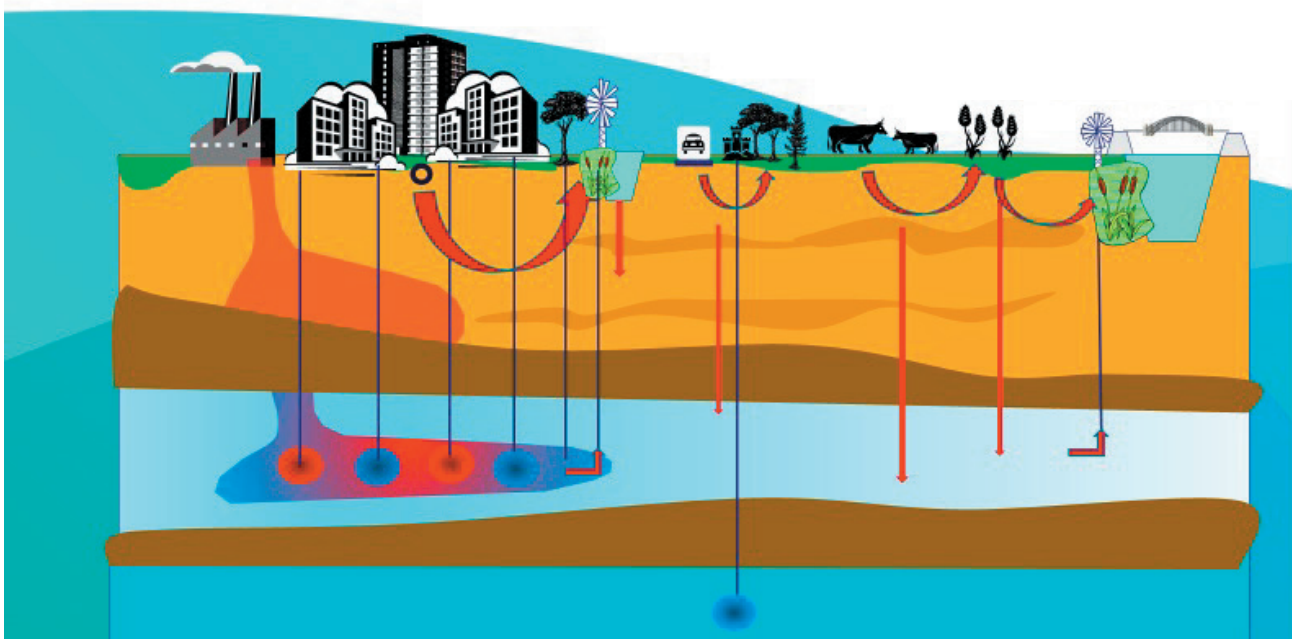
Ook bomen kunnen worden ingezet voor grondwatersanering, waarbij gebruik wordt gemaakt van de zuigkracht van de wortels van bomen en waarbij allerlei fyto-remediatie-processen een rol spelen. Met behulp van een in een water-voerende laag geplaatst filter kan de zuigkracht van de wortels worden gebruikt om verontreinigingen die zich reeds in verticale richting hebben verspreid weer naar boven te halen. Bron: Bioclear earth.



Een impressie van de gepresenteerde mogelijkheden voor ingrijpen is weergegeven in [figuur 38](#).

**FIGUUR 38**

Verontreinigingspaden en opties voor ingrijpen.



### 5.3.3 OVERZICHT

Een overzicht van het type ingreep in het pad is gegeven in [Tabel 7](#).

**TABEL 7**

*Overzicht van het type ingreep in het pad.*

Stofgroepen	Type ingreep
Chloorkoolwaterstoffen	Stimuleren afbraak (reactieve bodemzones en groenvoorzieningen, combinatie met WKO's)
Aromaten en alifaten	Stimuleren afbraak (reactieve bodemzones en groenvoorzieningen, combinatie met WKO's)
Cyanide en fenolen	Stimuleren afbraak (reactieve bodemzones en groenvoorzieningen, combinatie met WKO's)
Zware metalen	Stimuleren vastlegging en opname in biomassa (reactieve bodemzone's en groenvoorzieningen)
Medicijnresten en antibiotica	Stimuleren afbraak (reactieve bodemzone's en groenvoorzieningen, combinatie met WKO's)
Meststoffen	Stimuleren omzetting in reactieve bodemzones
Bestrijdingsmiddelen	Stimuleren afbraak in reactieve bodemzones en helofytenfilters in kwel sloten
PFAS	Nog niet bekend

### 5.4 UITWERKING HANDELINGSPERSPECTIEVEN BIJ DE RECEPTOR

Receptoren die nadelig kunnen worden beïnvloed door verontreinigd grondwater zijn (Swartjes *et al.*, 2022):

- De mens, via
  - publieke drinkwaterwinning;
  - private drinkwaterwinning;
  - consumptie van gewassen die verontreinigd zijn met stoffen uit irrigatiewater of grondwater via poriewater in de wortelzone beïnvloed vanuit dieper grondwater door opwaarts transport);
  - consumptie van dieren die de verontreinigde gewassen hebben gegeten;
  - consumptie van gewassen na irrigatie met grondwater;
  - 'opgelegde' blootstelling (via uitdamping van stoffen en permeatie door drinkwaterleidingen);
- landbouwgewassen die beïnvloed zijn door stoffen uit grondwater (poriewater in de wortelzone beïnvloed door grondwater door opwaarts transport);
- landbouwhuisdieren door veedrenking en via gras en mais;
- oppervlaktewater, via drainerend grondwater, inclusief meren, rivieren, estuaria, kustwater en zee;
- grondwaterafhankelijke ecosystemen;
- grondwater zelf (intrinsieke waarde).

Is de meeste gevallen is alleen bij drinkwaterwinning een uitgebreide zuivering, vanwege de tot op heden relatief lage prijs van het product, financieel haalbaar. Dat betreft alle typen stoffen. Bij alle overige receptoren zijn alleen extensieve maatregelen haalbaar, zoals beschreven onder de handelingsperspectieven welke kunnen worden uitgevoerd in 'het pad' ([paragraaf 1.3](#)). Maar ook zuivering van ruwwater is een noodmaatregel. In de eerste plaats moet zuivering bij de receptoren, ook in overeenstemming met de Kaderrichtlijn Water, zo veel mogelijk worden voorkomen. Derhalve moet zo vroeg mogelijk worden ingegrepen bij de bron of op het pad dat de verontreinigingen afleggen. Omdat het grondwater zich blijft voortbewegen, moet men zich wel realiseren dat daarvoor nu al maatregelen nodig kunnen zijn om receptoren die pas over decennia of zelfs eeuwen worden bereikt, te beschermen.

### 5.5 UITWERKING HANDELINGSPERSPECTIEVEN GERELATEERD AAN OPEN EN GESLOTEN BODEMENERGIESYSTEMEN

In de Deltafact Effecten van bodemenergiesystemen op de grondwaterkwaliteit (Schout en Bloemendal, 2022) worden de volgende handelingsperspectieven beschreven:

#### 5.5.1 Handelingsperspectief gesloten bodemenergiesystemen

Voor gesloten systemen vormen kortsluitstroming door slecht afgedichte scheidende lagen en lekkage van het circulatie-

middel de belangrijkste risico's. De beheersing van deze risico's zou als volgt versterkt kunnen worden:

- Met de ervaringen van ILT (Inspectie voor de Leefomgeving en transport) en de risico's tijdens de aanleg is het van belang dat toezicht en handhaving niet verminderd. De aanleg van GBES (gesloten bodem-energiesystemen) wordt steeds gebruikelijker, lakse of routinematige fouten in de uitvoering moet worden voorkomen. Uitvoerige protocollering en standaardisering van gebruikte methoden, materialen en bevindingen tijdens de aanleg dient nagestreefd te worden. In [Graaf et al. \(2021\)](#) staan een aantal concrete aanbevelingen hoe het kwaliteitssysteem te verbeteren.
- het verbeteren van de informatievoorziening: Door beter toezicht en administratie van systemen en milieu incidenten kan ook beter inzicht verkregen worden in de faalkansen en daaraan verbonden risico's (zie kennisleemten). Gedacht kan worden aan een systeem waarin niet alleen de leeftijd, ontwerp en locatie van systemen, maar ook, de samenstelling van het circulatiemedium, en eventuele incidenten worden bijgehouden.
- Het aanpassen van de voorschriften voor aanvullen van boorgaten in de BRL 2100/11000. Op basis van lopend onderzoek lijkt het volledig aanvullen van de boorgaten met een ondoorlatend materiaal te leiden tot lagere risico's op kortsluitstroming in vergelijking met het laagsgewijs aanvullen met grind of zand bij zandlagen en klei bij scheidende lagen.
- De mogelijke effecten door lekkages van bodemlussen op de grondwaterkwaliteit kunnen nog verder verkleind worden door het gebruik van milieuvriendelijke circulatievloeistoffen. Bijvoorbeeld door toepassing van water zonder additieven te stimuleren of door een verdere beperking van de toegestane additieven in de BRL 11000.
- Het instellen van een dieptebeperking voor het boren, zodat scheidende lagen boven kwetsbare watervoerende pakketten intact blijven, waar er grote waterkwaliteitsverschillen en/of stijghoogte verschillen zijn. Wel dient per locatie een afweging te worden gemaakt tussen de bescherming van dieper grondwater versus de negatieve effecten van een geringere einddiepte op de toepassingspotentie en prestaties (thermisch rendement) van GBES.
- Als er op termijn toch ongewenste gebeurtenissen geconstateerd worden bij bodemenergiesystemen, dan geldt voor OBES (open bodem-energiesystemen) dat mitigerende of herstel maatregelen mogelijk zijn, e.g., sanering of herstel van de temperatuur in de ondergrond via de bronnen. De gevolgen van ongewenste gebeurtenissen bij GBES zijn echter moeilijk te mitigeren. Bij bijvoorbeeld ondiepe lekkage vanuit het horizontale leidingwerk is sanering goed mogelijk, bij lekkages in op diepte is dat niet het geval. Voor GBES systemen is preventie en handhaving van de kwaliteitswaarborgen daarom nog belangrijker.

### 5.5.2 Handelingsperspectief open bodemenergiesystemen

Voor open systemen zijn menging van verschillende grondwatertypen en de verspreiding van bestaande verontreinigingen de belangrijkste risico's. Gedegen vooronderzoek blijft essentieel om risico hierop in beeld te brengen. Vanwege de vergunningsplicht is er al goed zicht op activiteiten, zowel vooraf als ook tijdens het gebruik, en hebben de provincies mogelijkheden om waar nodig aanvullende preventie- of monitoringsvoorschriften op te nemen. Op deze manier kan OBES toch worden toegepast en ongewenste verspreiding/menging van watertypen worden beheerst. Het verbeteren van de informatievoorziening verdient bij GBES aandacht. Vooral de installatiediepte moet goed gedocumenteerd zijn.

## 5.6 UITWERKING HANDELINGSPERSPECTIEVEN GERELATEERD AAN GEOTHERMIE

In de Deltafact Mogelijke lange-termijn effecten van grootschalige geothermie op grondwaterkwaliteit (Cirkel et al., 2022) worden de volgende handelingsperspectieven beschreven:

De feitelijke risico's van geothermie voor de vergrijzing van grondwaterkwaliteit lijken, zover deze op dit moment bekend zijn, beheersbaar en/of worden er reeds beheersmaatregelen getroffen. Voortgaande identificatie en mitigatie van risico's voor de grondwaterkwaliteit blijft niettemin belangrijk. Dit is een gezamenlijke taak voor overheden (rijksoverheid, provincies), kennisinstututen, toezichthouder (SodM) en de sector zelf (o.a. Geothermie Nederland) (o.a. [Herijking Grondwaterbeschermingsbeleid](#), Royal HaskoningDHV, 2021 en Industriestandaard Duurzaam Putontwerp, Geothermie Nederland, 2021). Van belang hierbij is de aanbeveling van de Algemene Rekenkamer (2021) dat de Ministers van EZK en IenW de regie versterken bij de inrichting en het beheer van de ondergrond en dat er meer samenhang komt in wet- en regelgeving voor de ondergrond. Hieronder volgt een overzicht van de geïdentificeerde risico's en de wijze waarop deze (verder) kunnen worden beheerst en gereduceerd. Hierbij dient te worden benadrukt dat uit het raadplegen van experts is gebleken dat veel van de handelingsperspectieven op het moment van schrijven reeds in de praktijk worden gebracht of in gang zijn gezet, maar nog niet in alle gevallen zijn vastgelegd in regelingen, standaarden en/of protocollen.



Geïdentificeerd risico	Beheersbaarheid en handelingsperspectief
Verontreiniging door lekkages en vermorsingen op de boorlocatie	De voorgeschreven bodembeschermende voorzieningen en regels ten aanzien van melding en opvolging bij eventuele verontreinigingen zijn in de regel afdoende om het risico op verontreiniging van bodem en grondwater te minimaliseren. Hierbij wordt toegezien op een effectief waterbeheersysteem. Wel moeten opvangsystemen door de operator tijdig worden geleegd zodat geen overstort naar de bodem, oppervlaktewater of riolering optreedt bij zware regenval.
Verspreiding van verontreiniging door het doorboren van bestaande bodem- en grondwaterverontreinigingen	Zowel in de richtlijnen voor ondiepe boringen (BRL2100) als in de praktijkstandaard voor olie- en gaswinning (NOGEPA Industriestandaard 41) is een vooronderzoek naar eventuele bodemverontreinigingen en een werkwijze bij aantreffen verontreiniging opgenomen. Beheersing van dit risico is mogelijk door bij de aanleg van geothermiesystemen aan te sluiten bij deze standaarden en de begin 2021 in werking tredende geothermie industriestandaard voor duurzaam putontwerp.
Risico van kortsluitstroming en verspreiding verontreinigingen door inadequaat herstel van doorboorde scheidende lagen	In de NOGEPA Industriestandaard 41 is een risico-evaluatiemethode uitgewerkt. Door bij deze methode aan te sluiten kan het risico worden beperkt. Als uit de evaluatie een risico blijkt dan inzetten op afdoende reparatie van de afdichting of als dat niet mogelijk is overgaan op het plaatsen van waterkwaliteitsmonitoring in het traject waar vraagtekens zijn over de isolatie van de watervoerende pakketten. Met name voor isolatie van ongeconsolideerde pakketten wordt aanbevolen om de effectiviteit van cement ten opzichte van andere afdichtingen (zoals zwellende kleien) te onderzoeken.
Verontreiniging door onvoldoende zorgvuldige opslag en transport van formatiewater tijdens putontwikkeling en/of regeneratie	Om het risico te beperken moeten tanks en foliebassins dubbelwandig worden uitgevoerd en goed gecontroleerd worden op lektheid. Ook moet voorkomen worden dat transportleidingen tussen de putten en de bassins kunnen lekken en moeten de bassins berekend zijn op extreme weersomstandigheden. Om lektheid te verifiëren is het aan te bevelen om het grond- en oppervlaktewater in de nabijheid van de bassins met regelmaat te bemonsteren op chloride als indicator stof. In algemene zin moet het streven zijn om formatiewater in zo klein mogelijke hoeveelheden en zo kort mogelijk op maaiveld op te slaan.
Optreden van een blow-out	Met geologisch vooronderzoek en naleving van de regels en voorschriften ten aanzien van boren en de installatie van beveiligingen zoals een BOP is de kans op een blow-out sterk verkleint. Door de toezichthouder wordt hier op toegezien.
Lekkage van formatiewater uit installaties	Om dit risico te verkleinen is allereerst inzet op het gebruik van corrosiebestendigere materialen en meervoudige barrières (dubbelwandigheid met inspecteerbare annulus) van groot belang, wat al wordt vormgegeven in de meest recente ontwerpen. Dit kan door dit in het ontwerp van nieuwe putten mee te nemen, maar ook door bestaande putten aan te passen door bijvoorbeeld het aanbrengen van injection tubing. Het gaat hierbij dus om het prevaleren van preventieve maatregelen boven curatieve zoals het gebruik van corrosie-inhibitoren. Daarnaast zijn regelmatige controles (logging campagnes) en innovatieve grondwatermonitoring op diepte, zeker in het geval van enkelwandige putten met mindere staalsoorten, noodzakelijk om respectievelijk te controleren of de integriteit van de putten op orde is en om te verifiëren dat geen lekkage is opgetreden. Omdat onbekend is hoe een lekkage van zout, warm formatiewater zich in ondiepe watervoerende putten ontwikkeld is aanvullend (model)onderzoek nodig.
Temperatureffecten op de biochemische samenstelling van het grondwater	Veldverificatie van modelstudies is noodzakelijk om gedegen uitspraken te kunnen doen over opwarmingspatronen en effecten op de grondwaterkwaliteit. Voor de waterkwaliteitseffecten van opwarming kan worden aangesloten bij nieuwe of lopende initiatieven rond HTO waar deze problematiek ook speelt.
Lekkage van vloeistoffen en/of gasen na abandonnering	Lekkage van vloeistoffen uit Nederlandse geothermische reservoirs lijkt na abandonneren geen risico van betekenis te vormen. Wel moet oog zijn voor mogelijke gaslekkage als vrij gas aanwezig is in de doorboorde formaties. In algemene zin is het van belang om ten aanzien van de eisen bij abandonnering oog te hebben voor mogelijk nog niet te voorzien toekomstig gebruik van de ondergrond. Afdichtingen moeten voor de eeuwigheid integer blijven.
Invulling kennisleemten	Verdere beheersing van eventuele risico's is mogelijk door invulling te geven aan de geïdentificeerde kennisleemten.

## 5.7 UITWERKING HANDELINGSPERSPECTIEVEN GERELATEERD AAN BODEM BIOLOGISCHE BESCHERMING

Veel factoren die in de paragrafen 5.2.2 t/m 5.2.4 worden genoemd en die voornamelijk ten doel hebben de inbreng van stoffen in de bodem te verminderen, zijn ook van belang voor het voorkomen van negatieve effecten op het bodemleven en daarmee op het zelfreinigend vermogen van de bodem. Daarnaast gelden een aantal handelingsperspectieven specifiek voor optimalisatie van de bodembioologische bescherming van grondwater:

- (Sterkere) bewustwording van het zelfreinigend vermogen van de bodem kan bijdragen aan een groter draagvlak voor extensievere grondbewerking en biologische teeltmethoden, welke het bodemleven en daarmee het zelfreinigend vermogen van de bodem bevorderen
- Het creëren en uitdragen van (een vergroot) inzicht in de factoren die het zelfreinigend vermogen positief en negatief beïnvloeden biedt handvatten om het functioneren van het zelfreinigend vermogen van de bodem te vergroten. Hierbij kan worden gedacht aan factoren die het bodemleven ten goede komen (bijvoorbeeld toepassing van organische stof, beluchting, diep wortelende gewassen) en factoren die het bodemleven negatief beïnvloedden (bijvoorbeeld verdichting en verstoring als functie van verschillende grondbewerkingstechnieken).

## 5.8 OPKOMENDE STOFFEN

Er zijn waarschijnlijk veel locaties waar zich zogenaamde opkomende stoffen (zoals medicijnresten, antibiotica en PFAS) in de onverzadigde bodemlaag bevinden of direct in het grondwater worden gebracht. Dit zijn vaak nog niet geïdentificeerde stoffen, waarvoor geen normenkader bestaat. Dergelijke stoffen worden vaak niet gemeten. En als ze wel worden gemeten is het vanwege het ontbreken van een beoordelingskader moeilijk om de risico's te duiden. Voor een groot deel zullen de stoffen uit de onverzadigde zone uitloggen in grondwater.

Veel handelingsperspectieven zoals genoemd in voorgaande hoofdstukken zijn ook van toepassing op opkomende stoffen. Dat geldt voor:

- Het voorkomen van emissies op of in de onverzadigde laag van de bodem - menselijk handelen - (paragraaf 5.2.2);
- Het voorkomen, of minimaliseren, van uitloging van reeds bestaande verontreiniging in de onverzadigde bodemlaag (paragraaf 5.2.3);
- Risico-gebaseerd beheer van verontreinigingen 'in het pad', op basis van modellering en monitoring (paragraaf 5.3);
- Ingrepen bij 'de receptoren' (humane en ecologische receptoren) (paragraaf 5.4);
- beperken van verspreiding door optimaliseren van de beschermende barrières in de ondergrond (geohydrologisch en bodembioologisch) (paragraaf 5.6 en 5.7).

Daarnaast zijn er nog specifieke handelingsperspectieven die gelden voor opkomende stoffen:

- Bij toelating van nieuwe stoffen meer rekening houden met afbraak/verwijderbaarheid en potentiële effecten van de stoffen in grondwater en het hanteren van striktere voorwaarden als het gaat om lozingen of emissies naar de lucht.
- Het identificeren van opkomende stoffen. Een 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 tegen stoffen en metabolieten. Dat kan op basis van het inventariseren van productieprocessen en stromen (inclusief RZWT's) en de bijbehorende stoffen en metabolieten en met behulp van monitoring. Non-targetscreening doorontwikkelen, databases koppelen, en gebruik maken van bestaande databases zoals de NORMAN database.
- Inbouwen in een signaleringssysteem waarbij data wordt omgezet in informatie. Waar mogelijk nieuwe meetmethodieken inzetten. Bij voorkeur een Early warning systeem opzetten, waarbij tijdige signalering van problemen mogelijk is (bijvoorbeeld meting in opdiep grondwater voor signalering problemen voor ruwwater/drinkwaterwinning).
- Bij wateraanvoerplannen expliciet meewegen van risico's op afwenteling op de grondwaterkwaliteit. Hiervoor is de ontwikkeling van een beoordelingskader vereist én een handelingskader om bij onacceptabele risico's de juiste maatregelen te kunnen treffen. Immissietoetsen voor grondwater, calamiteitenplannen en scenario's voor sanering ontwikkelen en toepassen. Een strikte vergunningsverlening met gebruikmaking van de immissietoets (Rijkswaterstaat, 2019); echter nu is vaak onbekend welke stoffen precies worden geloosd (zoals bij PFAS is gebleken).

- Systematische en actuele monitoring (handvatten bieden voor een monitoringsstrategie). Het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit en de provinciale meetnetten grondwaterkwaliteit zijn gestart in respectievelijk 80-er en 90-er jaren van de vorige eeuw en sinds ca. 2004 worden door provincies ook bestrijdingsmiddelen gemeten in de meetnetten (op 10 en 25 meter diep). Er zijn ook grondwaterkwaliteitsmetingen beschikbaar van voor 1980, maar niet in dit soort meetnetten. De drinkwaterbedrijven meten veel en risicogericht bij hun winningen. Vanuit het verleden kunnen we leren dat voor bestrijdingsmiddelen, waarvoor op het toelatingsbeleid werd gevaren (zonder metingen in het veld), decennia later problemen in drinkwaterbronnen ontstaan. Hieruit blijkt dat monitoring noodzakelijk is om het stoffenbeleid in de praktijk te toetsen en eventueel bij te sturen. Sinds 2010 worden ook 'exotische stoffen' en 'medicijnen en medicijnresten' gemeten in grondwater op 10 en 25 meter diepte, deze metingen zijn belangrijk voor het monitoren van opkomende stoffen; sinds 2015 is deze monitoring landelijk coherent uitgevoerd door provincies. Dit levert nieuwe inzichten op over het vóórkomen van opkomende stoffen in grondwater. In de monitoring ook aandacht schenken aan persistentie en mobiliteit in verschillende hydrogeochemische settings, inzicht verkrijgen in anoxische en diep-anoxische milieu's.
- Inzichten vanuit oppervlaktewatermonitoring meenemen in grondwatermonitoring. Een early warning monitoring systeem in oppervlaktewater en ondiep grondwater opzetten voor bedreigingen van grondwaterkwaliteit, ook specifiek rond drinkwaterwinningen. Uit screening van oppervlaktewater en grondwater duidelijk krijgen welke stoffen een probleem kunnen zijn, waarvoor vervolgens gezocht moet worden naar bronnen. Hiervoor is samenwerking tussen de actoren in de monitoringscyclus belangrijk. Hierbij meer rekening houden met de factor tijd: wat betekent een gemeten concentratie op ene specifieke diepte voor beschermdoelen in de toekomst? Freatische monitoring hoort daarbij omdat je op 10 meter diep de situatie van 10 jaar geleden bekijkt (in infiltratiegebieden).
- Bij toelating van nieuwe stoffen meer rekening houden met afbraak/verwijderbaarheid en potentiële effecten van de stoffen in grondwater en het hanteren van striktere voorwaarden als het gaat om lozingen of emissies naar de lucht.
- 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.
- Het opzetten van een effectieve kennisinfrastructuur over opkomende stoffen.

## 5.9 INDICATOR VERGRIJZING VAN GRONDWATER

Om het effect van handelingsperspectieven te kunnen meten, is een indicator voor vergrijzing van grondwater een nuttig instrument. Met een dergelijke indicator zijn ook trends in de ernst van vergrijzing van grondwater aan te geven of is er een vergelijking tussen de ernst van vergrijzing van grondwater tussen twee situaties te maken. In KIWK Grondwater werd een aanzet gegeven tot een dergelijke indicator, die de ernst van vergrijzing aangeeft voor het beschermdoel 'de mens', gericht op blootstelling ten gevolge van drinkwaterconsumptie uit privéwinning (zie [Bijlage 4](#)). Deze indicator is één van de elementen om in later stadium op vergelijkbare wijze tot een set van indicatoren te komen die gericht zijn op andere beschermdoelen.

De indicator voor vergrijzing van grondwater is gebaseerd op de screeningsmethodiek voor Persistente (P), Mobiele (M) en Toxische (T) stoffen in oppervlaktewater. Om de risico's voor drinkwaterconsumptie uit privéwinning te kunnen kwantificeren met de indicator worden er scores tussen 0 en 1 toegekend aan de onderdelen Persistentie (P) en Toxiciteit (T). Vervolgens worden deze scores 'slim' gecombineerd, voor alle gemeten stoffen tezamen. Omdat het aantreffen van een stof in grondwater al een aanwijzing voor mobiliteit is, is het onderdeel Mobiel (M) in eerste instantie geen onderdeel van de indicator.

De persistentiescore (P) kan worden berekend met behulp van een QSAR (quantitative structure-activity relationship), op basis waarvan de DT50 (halfwaardetijd) van stoffen in grondwater kan worden geschat op basis van vergelijkbare eigenschappen van bekende stoffen. De Toxiciteitscore (T) wordt berekend op basis van risicogrenswaarden of het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau voor blootstelling ( $MTR_{\text{humaaan}}$ ). Als deze beide ontbreken (voor onbekende stoffen), kan de Toxiciteitscore (T) worden geschat.

Ter nuancering van de risico's voor drinkwaterconsumptie uit privéwinning wordt aanbevolen een Verspreidingscore toe te voegen (waarvan de Persistentiescore (P) onderdeel is) en de gemeten concentraties met de Toxiciteitscore (T) te combineren. Daarnaast moet een vergelijkbare procedure worden ontwikkeld voor andere beschermdoelen (bijvoorbeeld ecologie in grondwater en/of grondwaterafhankelijke ecosystemen). Tenslotte is het wenselijk de indicator ter verificatie toe te passen op een tijdreeks van grondwatermonsters om een 'expert judgement' te vergelijken met de uitkomst van deze aanpak.

## 5.10 CONCLUSIES

In dit hoofdstuk zijn diverse typen handelingsperspectieven beschreven die kunnen worden toegepast om vergrijzing van grondwater te verminderen. Ten eerste zijn deze gericht op specifieke stofgroepen, onderverdeeld in handelingsperspectieven welke bij de bron, in het pad of bij de receptor plaats kunnen vinden. Ten tweede zijn de handelingsperspectieven gericht op drie barrières, die bijdragen aan de bescherming van de grondwaterkwaliteit.

De meest kostenefficiënte handelingsperspectieven zijn op de bron gericht. Zeker indien de bron een bewuste inbreng van stoffen in en op de bodem betreft, zoals voor bestrijdingsmiddelen en meststoffen, zijn handelingsperspectieven efficiënt. Op de eerste plaats moet het water-, bodem- milieu- en omgevingsbeleid vergrijzing tegengaan. Daarnaast zijn voorlichting, technische oplossingen, stimuleringsmaatregelen en gedragsbeïnvloeding kansrijk. Er zijn veel kleinschalige initiatieven die effectief bleken te zijn in de praktijk.

Maar ook als de stoffen reeds onderdeel van het pad uitmaken, zijn, anders dan vaak wordt gedacht, nog steeds handelingsperspectieven mogelijk, in de vorm van innovatieve extensieve sanerings- en beheersmaatregelen. Te denken valt aan bioremediatie (bijvoorbeeld in combinatie met de toepassing van bodemenergie) of de aanleg van riet of helofyten om de omstandigheden te optimaliseren voor het verwijderen van bestrijdingsmiddelen en meststoffen. Idealiter gebeurt dit gekoppeld aan herinrichtingswerkzaamheden voor klimaatadaptatie. Laagtes die worden gecreëerd voor het opvangen van water in natte tijden, om overstromingen te voorkomen, kunnen onder zodanige geohydrologische en biogeochemische omstandigheden worden aangelegd dat hier verontreinigd grondwater opkwelt en wordt gezuiverd. Als alternatief kunnen windpompen worden ingezet of gebruik worden gemaakt van de zuigkracht van bomen om stoffen met het water naar rietlanden of helofyten te leiden.

Alhoewel onwenselijk, het moet worden gezien als noodoplossing, biedt zuivering van ruwwater perspectief om risico's te verminderen. In sommige gevallen kunnen handelingsperspectieven ook bij andere receptoren dan drinkwaterwinnings financieel haalbaar zijn. Dat betreft dan extensieve maatregelen (bijvoorbeeld de aanleg van rietvelden, helofyten), eventueel in samenhang met ingrepen in de bodem, zoals bij het toepassen van bodemenergie.

De handelingsperspectieven gericht op de bescherming van grondwater bij de aanleg van bodemenergiesystemen zijn gericht op strikte opvolging van de richtlijnen en protocollen, handhaving en enige technische handelingen.

## ▶▶ 6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit rapport is onderbouwd dat op een termijn van 100 jaar er veel met de grondwaterkwaliteit kan gebeuren. De trend is dat we meer stoffen produceren, we zoeken naar meer stoffen, we vinden steeds meer stoffen en daarvan identificeren we er meer. Het onderzoek dat in dit rapport is beschreven toont aan dat op een aantal punten handelen nodig is. Uiteraard komen er vervolgvragen op, maar de beschikbare kennis is voldoende om nu al de juiste maatregelen te nemen. Belangrijke drijfveer is dat stoffen die eenmaal in het grondwater zitten er doorgaans niet kostenefficiënt uit te halen zijn. Om die reden moet het voorzorgsbeginsel maximaal worden ingevuld.

### DE DRIE BARRIÈRES

De fysieke barrière is onderzocht door middel van twee scenario's, een 'worst case' en een meer realistisch scenario. Daarmee zijn de gebieden geïdentificeerd die het meest kwetsbaar zijn voor doorboringen. Dit is bruikbare en relevante informatie voor het beleid, omdat daarmee duidelijk is welke gebieden het meest in aanmerking komen voor eventuele aanvullende maatregelen (preventief, toezicht, etc.).

Voor de chemische barrière is de ondergrond nader in kaart gebracht. Ook daar zijn gebieden geïdentificeerd die kwetsbaar zijn voor uitspoeling van nitraat door een afnemende voorraad pyriet. In de uitgevoerde case-study bleek de bufferende werking van de ondergrond in het winpakket lager dan van tevoren was ingeschat op basis van landelijk beschikbare informatie zoals de geochemische beschermkaart en bulkchemische data uit boringen. De ondergrond rondom de winning uit de case-study is dus een stuk kwetsbaarder voor waterkwaliteitsveranderingen door het opraken van de geochemische buffer. Dit onderstreept het belang van het structureel karteren van de reactiviteit van de ondergrond. Voor de drinkwatersector en grondwaterkwaliteitsbeheerders is het van belang om op een zoveel mogelijk gestandaardiseerde wijze lokale data te krijgen over de geochemische bulksamenstelling van de ondergrond en de vertaling hiervan naar de geochemische reactiviteit van het sediment. Een logische stap voor drinkwaterbedrijven is om bij de aanleg van putten en peilbuizen geochemisch onderzoek uit te voeren op een vergelijkbare manier als in dit onderzoek voor de boring Lottum is gedaan. Om dit te stroomlijnen wordt aanbevolen een verkenning uit te voeren of een samenwerking met het Geowetenschappelijk Informatie Programma (GIP) van TNO mogelijk is.

Voor de biologische barrière werden voor het eerst effecten van een mengsel van de meest voorkomende pesticiden op micro-organismen in de bodem onderzocht. Tot concentraties van 9x de mediane waarden werden geen negatieve effecten gevonden in grond van een akker op zand. De microbiële groei werd gestimuleerd door de toegevoegde pesticiden. Dit weerspiegelt afbraak en zelfreinigend vermogen. Bij nog hogere concentraties namen schimmels niet meer toe en was de toename van bacteriën geremd. De maximale concentraties in landbouwbodems waren echter 3 tot 15x hoger dan de mediaan, en liggen dus niet ver onder de waarden waar remming van microbiële activiteit (c.q. het zelfreinigend-vermogen) kan optreden. Dit onderstreept het belang van zorgvuldig gebruik van bestrijdingsmiddelen.

### HANDELINGSPERSPECTIEVEN

Er is uitgebreid studie gemaakt van handelingsperspectieven. Die zijn vermeld in een apart hoofdstuk. Ook per thema zijn handelingsperspectieven geformuleerd, die zijn terug te vinden in de vijf Deltafacts. Een belangrijke ontwikkeling is de aanzet tot een nieuwe indicator, die kan worden gebruikt om de mate van vergrijzing uit te drukken en daarmee te toetsen of beleid succesvol is.

### HANDELINGSPERSPECTIEVEN PER THEMA

- Bodemenergiesystemen: voor *gesloten systemen* vormen kortsluitstroming door slecht afgedichte scheidende lagen en lekkage van het circulatiemiddel de belangrijkste risico's. De belangrijkste kennisleemte bij gesloten bodemenergiesystemen is gebrek aan kwantitatief inzicht in de fouten bij aanleg en faalkansen van individuele systemen om lekkagerisico's bij grootschalige toepassing van gesloten bodemenergiesystemen te beoordelen. Voor *open systemen* zijn menging van verschillende grondwatertypen en de verspreiding van bestaande verontreinigingen de belangrijkste risico's. Ge-

degen vooronderzoek blijft essentieel om risico hierop in beeld te brengen.

- Geothermie: de feitelijke risico's van geothermie voor de vergrijzing van grondwaterkwaliteit lijken, zover deze op dit moment bekend zijn, beheersbaar en/of er worden reeds beheersmaatregelen getroffen. Voortgaande identificatie en mitigatie van risico's voor de grondwaterkwaliteit blijft niettemin belangrijk. De kennisontwikkelingen op dit terrein gaan snel, waardoor kennisleemtes snel veranderen.
- Actieve infiltratie wordt in toenemende mate toegepast, ook in andere vormen dan voorheen toen het vooral ging om infiltratie in de duinen t.b.v. de drinkwaterwinning. De KRW en de Grondwaterrichtlijnen geven juridische kaders hiervoor. Het Infiltratiebesluit dat het Nederlandse wettelijke kader vormt, zou moeten worden geevalueerd.
- Door allerlei oorzaken vinden we steeds meer opkomende stoffen in grondwater. Geneesmiddelen worden vaak aangetroffen (inclusief röntgencontrastmiddelen), maar ook een stof als EDTA (sterke synthetische complexvormer) wordt vaak aangetroffen, naast o.a. oplosmiddelen en twee stoffen uit de PFAS-groep. Hoewel er de laatste jaren veel onderzoek is gedaan, is er nog veel onbekend. Niettemin zijn er duidelijke handelingsperspectieven geïdentificeerd.
- Er is een aanzet tot een indicator beschreven om de mate van vergrijzing uit te drukken. De indicator is gebaseerd op gemeten concentraties, in combinatie met een score voor persistentie en toxiciteit. Om vergrijzing tegen te gaan zijn maatregelen mogelijk bij de bron, in het pad en bij de receptor. Maatregelen bij de bron zijn hierbij het meest efficiënt.

#### **ALGEMENE AANBEVELINGEN**

- Teruggrijpend op het advies van de Adviescommissie Water (2017), constateren we dat de 'factor tijd' in dit onderzoek veel aandacht heeft gekregen. Het onderzoek heeft ook bruikbare inzichten opgeleverd voor de langere termijn. Er zijn daarmee voldoende aanknopingspunten voor beleid en beheer om bij beslissingen over bodem en ondergrond de effecten op de grondwaterkwaliteit die spelen op de langere termijn te betrekken.
- De barrières die in dit rapport zijn onderscheiden verdienen bescherming. Bij het beoordelen van activiteiten in bodem en ondergrond kan dit (communicatief aantrekkelijke) concept goed worden gebruikt.
- De in ontwikkeling zijnde indicator voor vergrijzing zou moeten worden getoetst en verder ontwikkeld (b.v. ecologie als receptor in aanvulling op de mens).
- Hoewel we belangrijke stappen hebben gezet met dit onderzoek, is verder onderzoek naar specifieke onderwerpen van belang, b.v. naar de vraag hoe door andere typen van kunstmatige infiltratie de bodembioologische bescherming kan worden benut. Verder zijn er tal van andere scenario's denkbaar waarvan het erg nuttig zou zijn de gevolgen op de grondwaterkwaliteit op de lange termijn te onderzoeken, op aanvulling op het beperkte aantal dat we hier hebben kunnen beschouwen.

## ►► 1 LITERATUUR

- Atlas Natuurlijk Kapitaal. <https://www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl/kaarten?config=58bf95bc-67bf-402d-a355-af211ad33949&activeTools=layercollection,search,info,bookmark,measure,draw&activateOnStart=layercollection&gm-x=205910.40000000008&gm-y=449248.00000000006&gm-z=3&gm-b=1544180834512,true,1;1554715635499,true,0.8>
- Bodem+ (2022). Nederlandse Richtlijn Bodembescherming (NRB). [Nederlandse Richtlijn Bodembescherming \(NRB\) - Bodem+ \(bodemplus.nl\)](#) (gezien 26 april 2022)
- Cirkel, G., J. Dijkstra, M. van Vliet (2021). Deltafact Mogelijke lange-termijn effecten van grootschalige geothermie op grondwaterkwaliteit
- Bloem, J., B.M. van der Zaan, M.A.R. Kox, A.E.E. de Jong, W.J. Dimmers, A.M. Matser, E. Dekker, M. Rutgers (2022). Waterkwaliteit Grondwater - Bodembioïologische bescherming. 36 pp. Kennisimpuls Waterkwaliteit rapport KIWK 2022-24.
- Dongen, Claude van. [LTO: groot draagvlak onder boeren voor individuele aanpak nitraatuitspoeling](#). H2O Actueel, 16 jan 2019
- Groenendijk, Piet, Luuk van Gerven, Peter Schipper, Stefan Jansen, Simon Buijs, Arnaut van Loon, Saskia Lukacs, Frank Verhoeven, Bart Housmans, Debby van Rotterdam, Gerard Ros, Koos Verloop, Gert-Jan Noij (2021). Maatregel op de kaart (Fase 2) Identificeren van kansrijke perceelsmaatregelen voor schoner grond- en oppervlaktewater. KIWK-rapport 2021-26. Mei 2021. <https://www.stowa.nl/deltafacts/waterkwaliteit/kennisimpuls-waterkwaliteit/mogelijke-lange-termijneffecten-van>
- InfoMil (2022). Besluiten en regelingen. [Besluiten en regelingen - Kenniscentrum InfoMil](#) (gezien 31 maart 2022)
- Kivits, T., Broers, H. P., Beeltje, H., Van Vliet, M., & Griffioen, J. (2018). Presence and fate of veterinary antibiotics in aged groundwater in areas with intensive livestock farming. Environmental Pollution, 241, 988-998. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.085>
- 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>
- Lange, F.T., Furrer, R. & Brauch, H.J. (2000). Polar Aromatic Sulfonates and their relevance to Waterworks. RIWA rapport. LLTB (2022). De Limburgse Land- en Tuinbouwbond. <https://www.lltb.nl/paginas/openbaar/themes/projecten/duurzaam-schoon-grondwater> (gezien 18 feb 2022)
- Loon, A. van, R. Sjerps, K.J. Raat (2019). Gewasbeschermingsmiddelen en afbraakproducten in Nederlandse drinkwaterbronnen. BTO2019.016
- Loon, A.H. van, T.E., Pronk, B.W. Raterman, S.E.M. Ros (2020). Grondwaterkwaliteit Nederland 2020. Anorganische parameters, bestrijdingsmiddelen, farmaceutica en overige verontreinigende stoffen in de grondwatermeetnetten van de provincies. KWR-rapport 2020.067
- Negash, A., F.A. Swartjes (2021). Chemische stoffen in het grondwater: status vergrijzing in Nederland. Kennisimpuls water, Stowa-rapport 2021-58.
- PBL (2020). Nationale analyse waterkwaliteit. Onderdeel van de Delta-aanpak Waterkwaliteit.
- Pieke, E.N., Van der Velden-Slootweg, T. (2020). Evaluatie screening Maasstroomgebied 2019.
- Prins, U., A. de Vries, J. Deru (2010). Vermindering uitspoeling nutriënten in het Drentsche Aa gebied. Verslaglegging maatregelen op bedrijfsniveau: Demopercelen grasklaver en direct zaaien snijmaïs. Louis Bolk Instituut. Publicatienummer: 2010-017 LbD
- Rijksoverheid (2022). Bijlage bij het Addendum op het 7e actieprogramma Nitraatrichtlijn. Bijlage bij de Kamerbrief over addendum 7e actieprogramma Nitraatrichtlijn en derogatie. 25 februari 2022
- Rijksoverheid (2022). <https://dwo.rivm.nl/Citrix/SSC-RIVMWeb/clients/HTML5Client/src/SessionWindow.html?launchid=1643962824375> (gezien 4 feb 2022)
- Rijkswaterstaat (2019). Handboek immisietoets. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 4 oktober 2019

- RIVM (2021). Bestrijdingsmiddelen. [Bestrijdingsmiddelen | RIVM](#) (gezien 16 nov 2021)
- RIVM (2022). Risico's van stoffen. Online database, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). [Risico's van stoffen | Risico's van stoffen \(rivm.nl\)](#) (gezien 30 maart 2022)
- Ros, Gerard, Luuk van Gerven, Piet Groenendijk, Servaas Damen, Michel de Haan, Koos Verloop, 2020. Strategisch plan voor de ontwikkeling van tools voor bewustwording en advies aan agrariërs voor verbeteren van waterkwaliteit. Rapport Kennisimpuls Waterkwaliteit Rapport 2020-44 en Wageningen, Nutriënten Management Instituut BV, Rapport 1589.N.20. [Strategisch plan voor de ontwikkeling van tools voor bewustwording en advies aan agrariërs voor verbeteren van de waterkwaliteit \(KIWK\) | STOWA](#)
- Rutgers M., Schouten T., Bloem J., Buis E., Dimmers W., van Eekeren N., de Goede R.G.M., Jagers op Akkerhuis G.A.J.M., Keidel H., Korthals G., Mulder C., Wattel-Koekkoek E.J.W. 2014. Een indicatorsysteem voor ecosysteemdiensten van de bodem : Life support functions revisited. RIVM Rapport 2014-0145,129 pp.
- RVO (2021). Mest gebruiken en uitrijden. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 21 december 2021. [Mest gebruiken en uitrijden | RVO.nl | Rijksdienst](#) (gezien 31 maart 2022)
- Schipper, Peter, Arnaut van Loon, Joachim Rozemeijer, Piet Groenendijk en Saskia Lukacs (2022). Effectiviteit nutriëntenmaatregelen om uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden te verminderen. Februari 2022. Deltafact KIWK. Effectiviteit nutriëntenmaatregelen om uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden te verminderen (gezien 12 april 2022)
- Sjerps, R.M.A. Maessen, M. Raterman, B.W. Laak, T.L. ter Stuyfzand, P.J. (2017). Grondwaterkwaliteit Nederland 2015-2016: chemie grondwatermeetnetten en nulmeting nieuwe stoffen.
- Swartjes, F.A., A.M.A. Van der Linden, N.G.F.M. Van der Aa (2016). Beoordeling van maatregelen ter vermindering belasting grondwater bij drinkwaterwinningen met gewasbeschermingsmiddelen en biociden. RIVM-rapport 2016-0083, RIVM, Bilthoven.
- Swartjes, F.A., N. Hoekstra, W. Verweij, J.J. Dijkstra, M.E. van Vliet, A.H. van Loon, P. Schipper (2022). Deltafact 'Vergrijzing van grondwater'. Kennisimpuls water, April 2022.
- Swartjes, Frank, Michiel Gadella. Evaluation of the data for the six Statuses of soil contamination EEA/EIONET. Memo, 8 Feb 2022
- Van der Aa, N.G.F.M., R.C. van Leerdam, van de Ven, P.J.C.M. Janssen, C.E. Smit, J.F.M. Versteegh (2017). Evaluatie signaleringsparameter nieuwe stoffen drinkwaterbeleid. RIVM Rapport 2017-0091, RIVM, Bilthoven
- Van Doorn, A. (2022). Case study Woerden. Studie naar impact van aanleg bodemenergiesystemen op verspreiding van stoffen in grondwater op de lange termijn, Definitief-rapport, Acacia Water, 25 januari 2022.
- Van Driezum, I.H., Beekman, J., van Loon, A.H., van Leerdam, R., Wuijts, S., Rutgers, M., Boekhold, S., Dik, H., Zijp, M. (2020). 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 Vliet, M.E. F. Swartjes, A. Marsman, P. Rood (2022b) Onderzoek naar de invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen op vergrijzing van grondwater - Case study Woerden. Kennisimpuls Water.
- Van Vliet, M.E., S. Huizer, A. Marsman, M. van der Schans en WJ Zaadnoordijk (2022a). Beschermingskaart doorboringen, Kennisimpuls water.
- Van Vliet, Mariëlle, Frank Swartjes, Annemieke Marsman, Peter Rood (2022). Onderzoek naar de invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen op vergrijzing van grondwater - Case study Woerden - x april 2022
- Van Vliet, Mariëlle, Frank Swartjes, Annemieke Marsman, Peter Rood (2022). Onderzoek naar de invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen op vergrijzing van grondwater - Case study Woerden, KIWK-rapport.
- Verhagen, F. T., Schipper, M., Avis, L. (2020). Feitenrapport Smalle Screening bestrijdingsmiddelen en opkomende stoffen Maasstroomgebied 2019.
- Verhagen, F.T., Holsteijn, A. & Schipper, M. (2018). Feitenrapport Brede Screening bestrijdingsmiddelen en opkomende stoffen Maasstroomgebied 2016.
- Versteegh, J.F.M., A.A.M. Stolker, W. Niesing en J.J.A. Muller (2003). Geneesmiddelen in drinkwater en drinkwaterbronnen. RIVM rapport 703719004, RIVM, Bilthoven.



Versteegh, J.F.M., N.G.F.M. van der Aa, E. Dijkman (2007). Geneesmiddelen in drinkwater en drinkwaterbronnen. RIVM rapport 703719016, RIVM, Bilthoven

Wit-de Vries, Esther de, Amanda Krijgsman (2021). Gedragsbeïnvloeding van agrariërs en consumenten in de mestketen (KIWK). Rapport Kennisimpuls Waterkwaliteit Rapport-rapport 2021-12. [Gedragsbeïnvloeding van agrariërs en consumenten in de mestketen \(KIWK\) | STOWA](#)

## ▶▶ BIJLAGE 1 SAMENSTELLEN EN OPSCHONEN EN VAN DE DATABASE OPKOMENDE STOFFEN IN HET GRONDWATER, EN EEN OVERZICHT VAN DE DATA DIE IN DE DATABASE ZITTE

### 1. BRONHOUDERS EN GRONDWATERKWALITEITSDATA

Een database met grondwaterkwaliteitsgegevens voor de periode 2009-2019 is opgesteld door het samenvoegen van een aantal databestanden van alle provincies en zes drinkwaterbedrijven (Waterbedrijf Groningen, Vitens, WMD, Oasen, Brabant Water en WML).

De data van provincies betreft de data van uitgebreide meetrondes grondwaterkwaliteit die in 2015-2016 en 2017-2018/2019 zijn uitgevoerd door de provincies in overleg met het Platform Meetnetbeheerders. Hiertoe is het grondwater bemonsterd uit ondiepe en diepe filters van het KRW-meetnet en een beperkt aantal filters op risicolocaties, dat wil zeggen locaties met een verhoogd risico op grondwaterverontreiniging als gevolg van activiteiten of functies, zoals stortplaatsen. Ondiepe filters bevinden zich op ongeveer 10 m - mv en diepe filters op ongeveer 25 m - mv. De KRW-filters liggen ruimtelijk verspreid over Nederland en zijn zo gekozen dat ze representatief zijn voor een groter gebied binnen een grondwaterlichaam. De meetronde 2017-2018/2019 is in sommige provincies gebruikt om meethiaten in de meetronde 2015-2016 op te vullen. Beide meetrondes hebben daar beperkt overlap met elkaar. In andere provincies wordt al langer periodiek onderzoek naar opkomende stoffen gedaan (bijvoorbeeld de Brede Screening Maasstroomgebied).

De data van drinkwaterbedrijven betreft de resultaten van grondwaterkwaliteitsmonitoring ter plaatse van waarnemingsputten, onttrekkingsputten en ruwwaterstrengen (gezamenlijk onttrokken grondwater). De diepte van de monitoring is gerelateerd aan de diepte van de grondwateronttrekking en varieert grofweg van 10-200 m -mv. Een deel van de monitoring door drinkwaterbedrijven valt onder de wettelijke verplichting uit de Drinkwaterwet. Drinkwaterbedrijven voeren aanvullende monitoring uit ten behoeve van kwaliteitsbewaking van de grondstof voor drinkwaterproductie en bronbescherming. Elk bedrijf maakt hierin eigen keuzes wat betreft meetlocaties, meetfrequenties en analysepakketten. Vanwege de risicogerichte sturing van de monitoring is een globaal patroon dat meetfrequenties zijn verhoogd indien ongewenste kwaliteitsontwikkelingen zich voordoen of worden verwacht.

Door verschillen in aanlevering zijn de data van drinkwaterbedrijven niet helemaal compleet en onderling niet uniform. De data voor 2019 zijn onvolledig doordat ten tijde van de uitvraag nog niet alle gegevens verwerkt waren. Voor het gezamenlijk onttrokken grondwater heeft Oasen geen gegevens aangeleverd en Vitens alleen voor de periode 2017-2019. Voor een deel van de putten zijn locaties en/of dieptes onbekend.

### 2. SAMENVOEGEN DATABESTANDEN

Bij de verschillende bronhouders zijn data opgevraagd van de chemische parameters met bijbehorende metadata. De databestanden van de bronhouders verschillen onderling in format en definitie van stofnamen en eenheden voor dezelfde analyses. Daarom zijn formats, eenheden en stofnamen uit de verschillende deel-databases geüniformeerd. Hiertoe zijn eerst de stofnamen omgezet naar ascii-tekst (dus verwijdering van leestekens, hoofdletters) en zijn toevoegingen, zoals “gefiltreerd” en “aangezuurd”, verwijderd. Vervolgens is bepaald welke van deze opgeschoonde stofnamen hetzelfde zijn en dus dezelfde parameter betreffen. Het aantal unieke stofnamen is op deze wijze fors gereduceerd. Op basis van stoffenlijsten zijn de parameters ingedeeld in stofgroepen.

### 3. STATUS DATABASES

De data van de provincies zijn openbaar en te downloaden via <https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/wkp.webapplication>. De data van de drinkwaterbedrijven is niet openbaar beschikbaar. De samengestelde database die hier wordt gepresenteerd wordt terug geleverd aan de bronhouders en is opvraagbaar onder voorwaarden.

#### 4. OPSCHONEN DATABASE VOOR STUDIE OPKOMENDE STOFFEN

De samengestelde dataset is als volgt bewerkt voor analyse van waargenomen opkomende stoffen in grondwater. Als eerste zijn alle verkregen locatiecodes uniform gemaakt, zodat de codes overeenkomen met de locatiecodes in de aangeleverde metadata. Vervolgens is getracht de stofnamen in de database verder te uniformeren. Hiervoor is eerst geprobeerd om de stoffen te koppelen aan de domeintabellen van het Informatiehuis Water (IHW). Vervolgens zijn de stoffen die na deze stap nog niet gekoppeld konden worden in het R package Webchem geladen. Met deze software wordt op basis van de stofnaam online verschillende databases bevraagd om zo een uniforme stofnaam terug te krijgen. Als laatste stap zijn de overgebleven stoffen verdeeld over de deelnemers van de projectgroep om zo handmatig de stofnamen te uniformeren. Hierbij zijn onder andere overzichten van stofgroepen gebruikt vanuit de Emissieregistratie en de EU Watchlist. De overgebleven stofnamen konden niet worden geïdentificeerd, o.a. door onduidelijke naamgeving. Deze groep heeft het label 'NA' (Not Applicable) meegekregen.

Na het uniformeren van de data is de data opgeschoond tot een voor KIWK Grondwater relevant overzicht van opkomende stoffen. Verschillende stofgroepen zoals nutriënten, metalen en gewasbeschermingsmiddelen zijn uit de data gefilterd. Verder zaten er metingen in de data aangeduid met het symbool ">", wat suggereert dat deze metingen boven het maximale meetbereik waren gemeten. Aangezien dit ongebruikelijk is en het niet duidelijk was wat dit precies betekent, zijn deze metingen uit de dataset gefilterd. Dit ging om een erg klein aantal metingen (ongeveer 1200 op 2,7 miljoen). Ook is voor een aantal metingen waarbij de meetwaarde 0 was, de concentratie gemarkeerd als onder de rapportagegrens als de meting zo nog niet was gemarkeerd.

De totale aangeleverde dataset bestaat uit ongeveer 4,8 miljoen meetwaarden, observaties van concentraties van stoffen, wat na verschillende stappen, die hierboven beschreven zijn, gereduceerd is tot een dataset die relevanter is voor KIWK Grondwater van ongeveer 2,7 miljoen observaties, deze dataset is verder geanalyseerd in deze studie.

#### 5. NIET IN PROVINCIEDATA WEL IN DRINKWATER BEDRIJVENDATA, EN VICE VERSA

In Tabel 9 staan stoffen die wel door de drinkwaterbedrijven aangeleverd zijn, maar niet door de provincies, de stoffen die in deze tabel zijn weergegeven hebben minimaal 300 metingen boven de rapportagegrens en zijn op minimaal 50 verschillende locaties aangetroffen, wat een selectie oplevert van 10 stoffen. In totaal zijn er 401 stoffen wel door de drinkwaterbedrijven aangeleverd, en niet door de provincies.

De stoffen in deze selectie behoren tot verschillende stofgroepen oplosmiddelen (1), MAK/PAK (1) en naftaleensulfonaten (3), verder kon er voor 5 stoffen geen stofgroep worden geïdentificeerd. De stofgroep naftaleensulfonaten is een interessante groep omdat deze stoffen vrij veel worden aangetroffen en het percentage metingen boven de rapportagegrens ook hoog is. Dit terwijl deze groep als geheel niet wordt gemeten door de provincies en ook niet door alle drinkwater bedrijven.

#### Nota bene

Er zijn ook een aantal stoffen aangeleverd door de provincies, maar niet door de drinkwaterbedrijven. In totaal gaat het om 30 stoffen waarvan er maar 8 worden aangetroffen en maar 3 meer dan 10 metingen boven de rapportagegrens hebben acetonitril (450 metingen), dimethylsulfide (354 metingen), 1,3-xyleen (30 metingen).

**TABEL 9**

Wel door drinkwaterbedrijven aangeleverd maar niet door provincies.

stof	CAS	Metingen	Metingen boven de rapportagegrens	% onder rapportagegrens	Mediaan (min -max) [ug/l]
1,2,3-trichloorpropan	96-18-4	25106	1085	95,7	0,06 (0,02 – 7,6)
1,2-dichloorbenzeen	95-50-1	23953	508	97,9	0,08 (0,01 – 0,34)
chloortrioxide	13932-10-0	751	394	47,5	9,2 (0,16 - 540)
1,3-diethyl-1,3-difenylureum	85-98-3	6063	385	93,6	0,01 (0,01 – 3,3)
1,5-naftaleendisulfonzuur	81-04-9	366	357	2,5	0,02 (0,02 – 5,9)
naftaleen-1,3,5-trisulfonzuur	6654-64-4	366	355	3,0	0,59 (0,024 – 4,9)
naftaleen-1,3,6-trisulfonaat,natriumzout	19437-42-4	366	355	3,0	0,78 (0,021 – 10,0)
1,6-naftaleendisulfonzuur	525-37-1	366	317	13,4	0,24 (0,02 – 1,5)
naftaleen-2,7-disulfonzuur	92-41-1	366	313	14,4	0,21 (0,02 – 1,9)
1,2,3-benzotriazool	95-14-7	2973	309	89,6	0,04 (0,01 – 2,3)

## 6. OVERZICHT DATABASE OPKOMENDE STOFFEN IN GRONDWATER

Het overgrote deel van de meetwaarden (97,7%) in de opgeschoonde en de op opkomende stoffen toegespitste database is lager dan de rapportagegrens (rapportagegrens is de laagste getalswaarde van een bepaling van een stof in een laboratorium die nog kwantitatief goed kan worden vastgesteld; r.g.; ook limit of quantification; LOQ) en slechts een zeer klein deel boven de rapportagegrens (2,3%). Van de 1157 stoffen zijn er 10 stoffen die altijd (100%) boven de rapportagegrens werden aangetroffen; 804 stoffen zijn bij analyse nooit aangetroffen boven de rapportagegrens.

### Rapportagegrenzen

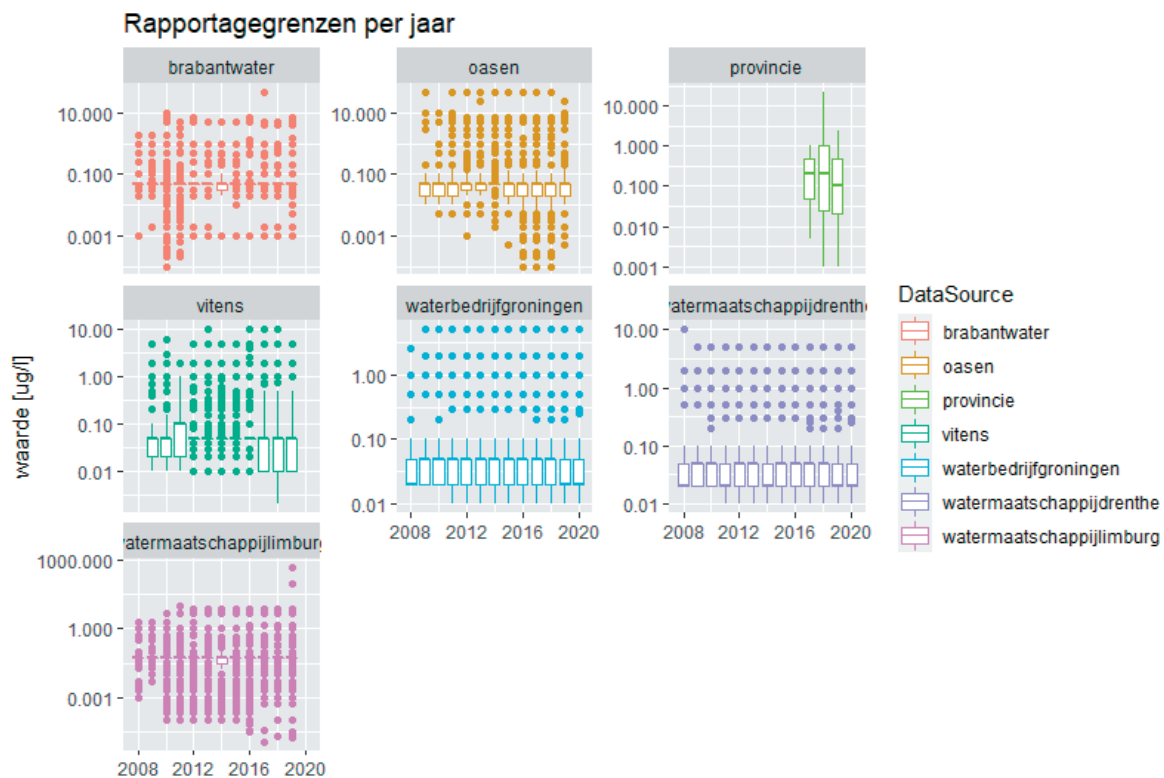
Omdat een groot deel van de meetwaarden lager is dan rapportagegrens, is het belangrijk om inzicht te hebben in de rapportagegrenzen. Ook is het nuttig om te weten of de rapportagegrenzen over de tijd zijn veranderd.

In [Figuur 39](#) zijn de rapportagegrenzen van de verschillende bronhouders weergegeven over de tijd. In deze figuur is bij alle bronhouders, met uitzondering van Brabant Water en de provincies, te zien dat de laagste detectiegrenzen gaandeweg lager zijn komen te liggen. Voor de meeste bronhouders liggen de rapportagegrenzen tussen de 0,01 en de 10 µg/l met enkele uitschieters boven de 10 µg/l voor metingen door Oasen, Brabant Water en Watermaatschappij Limburg, voor 18 stoffen in de database<sup>2</sup>. Uitschieters onder de 0,001 µg/l zijn ook te zien voor dezelfde bronhouders. Bij vrijwel alle bronhouders ligt het zwaartepunt van de rapportagegrenzen onder de 0,1 µg/l, met uitzondering van de provincies waar dit iets hoger is.

<sup>2</sup> som 16 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (EPA); TR-Calux: Thyroidviteit; 1,2-dichloorethaan; 2-methoxy-2-methylbutaan; pyrazol; Olie; som adsorbeerbare organische halogeenvbindingen; 1,4-dioxaan; bis(2-ethylhexyl)ftalaat (DEHP); diisobutylftalaat; tertiairbutanol; som extraheerbare organische halogeenvbindingen; 2-butanol; pentanol; 2-methylpropanol (iso-butanol); 2-octanol; butanol; methanol

**FIGUUR 39**

Rapportagegrenzen per jaar gesplitst over de verschillende databronnen.



## Locaties

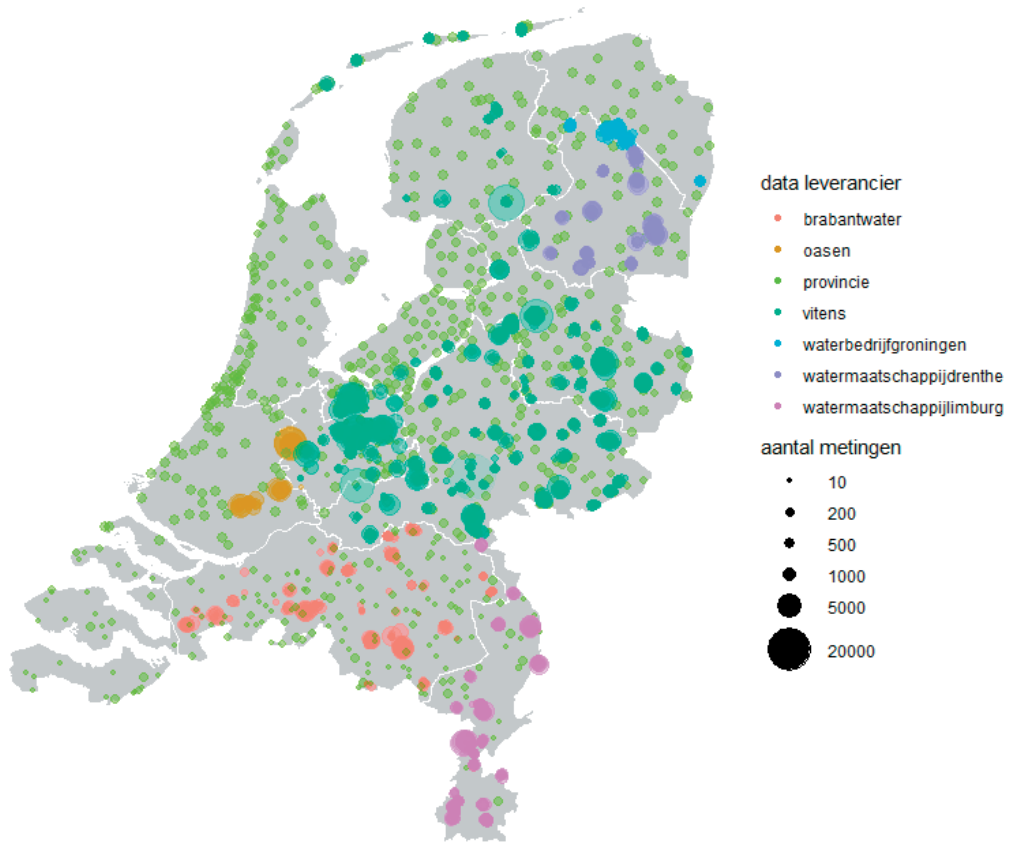
In de opgeschoonde en op opkomende stoffen toegespitste data zitten uiteindelijk 6529 meetpunten. Niet al deze informatie kon worden gebruikt voor ruimtelijke analyses, omdat niet voor elk meetpunt meta data over ligging en diepte geleverd was. Van de 6529 meetpunten konden er aan 323 meetpunten geen coördinaten worden gekoppeld en van nog eens 422 meetpunten ontbraken gegevens over de maaiveldhoogte, de bovenkant of de onderkant van het filter.

In [Figuur 40](#) zijn alle locaties waarvan de metadata compleet is, met x,y en diepte, weergegeven. De locaties van de drinkwaterbedrijven bevinden zich zoals verwacht voornamelijk in het oosten van het land. De locaties van de provincies zijn te vinden in het hele land en geven een goede landelijke dekking. Verder is te zien dat er op de locaties van de drinkwaterbedrijven over het algemeen meer metingen in de database zitten dan op de locaties van de provincies. Hierbij kunnen een aantal kanttekeningen geplaatst worden. Ten eerste dat niet alle bestaande provinciale data zijn opgenomen in deze database (zie Hoofdstuk 2). Ten tweede zijn drinkwaterbedrijven meer gaan meten wanneer er een vermoeden is van verontreiniging, zodat er een bias ontstaat naar meer metingen in verontreinigde plaatsen. Ten derde moet men zich realiseren dat de data van drinkwaterbedrijven en van provincies op andere dieptes zitten en ander type monsters kunnen betreffen.

Om een indruk te krijgen van het aantal locaties is in [Figuur 41](#) het aantal locaties weergegeven over de tijd per bronhouder. Hier is te zien dat voor de meeste bronhouders het aantal locaties over de tijd vrij stabiel is. Wel laten de locaties voor Vitens in de observatie en productieputten variaties zien. Ook de locaties van de provincies laten sterke variatie in de tijd zien. Dit komt doordat provincies elke 3 jaar een KRW-meetronde uitvoeren, de metingen niet tegelijkertijd worden uitgevoerd en de meetronde 2017-2018/2019 voor een deel benut is om hiaten in de meetronde 2015-2016 op te vullen. Daarnaast is niet voor elke meting een datum geregistreerd. Het puttype 'spring' komt alleen in Limburg voor en bestaat uit een beperkt aantal locaties.

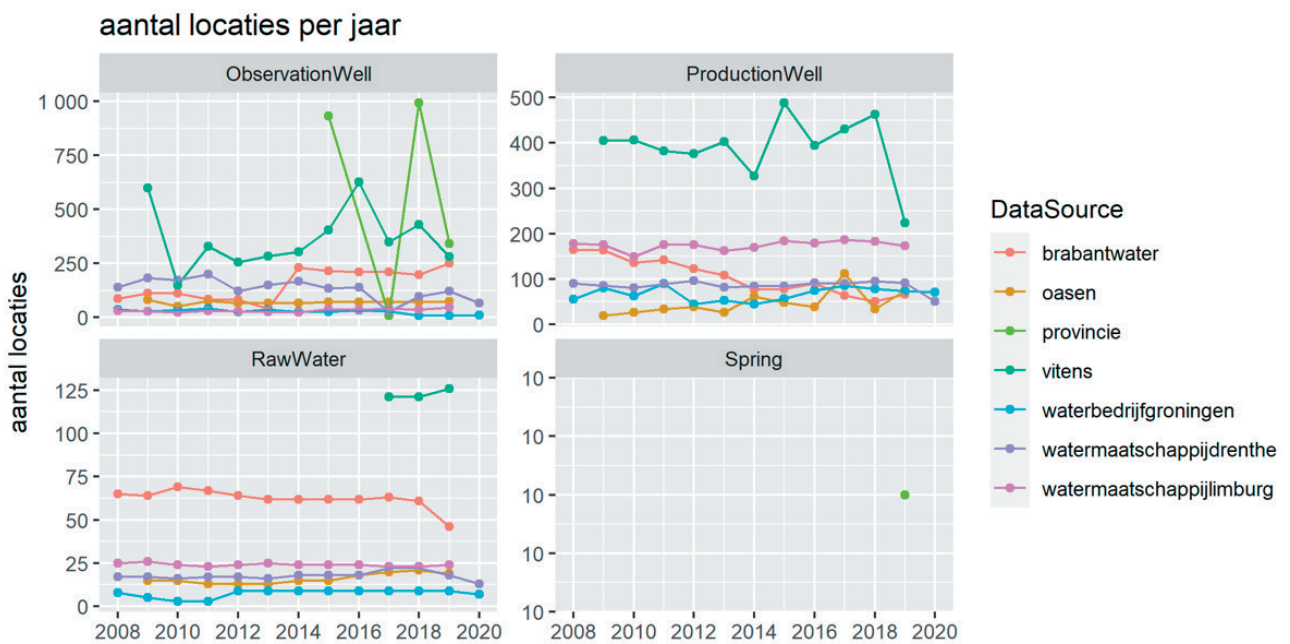
**FIGUUR 40**

locaties waarvan meta data (x, y en diepte) beschikbaar is met de grootte van de cirkels geschaald naar het aantal metingen.



**FIGUUR 41**

Het aantal locaties over de tijd per bronhouder.



Het aantal meetwaarden over de tijd laat geen duidelijk patroon zien, de meeste bronhouders hebben een vrij constant aantal metingen per jaar, met wat schommelingen. Opvallend is dat Vitens duidelijk meer metingen heeft en tot 2016 ook een stijgende trend in het aantal metingen laat zien die daarna weer naar beneden gaat. Een aantal drinkwaterbedrijven heeft geen, of beperkt, data voor gemengd ruwwater aangeleverd. De data voor 2019 is onvolledig in de database doordat bij aanlevering door de bronhouders niet alle data al was gevalideerd en verwerkt.

### NADERE TOELICHTING TERMEN

**Aantal metingen:** Het totaal aantal metingen of analyses, zowel boven als onder de rapportagegrens.

**Aantal metingen boven de rapportagegrens:** Een subset van het totaal aantal analyses waarbij alleen het aantal analyses boven de rapportagegrens wordt meegenomen.

**Aantal gemeten stoffen:** Het totaal aantal unieke geanalyseerde stoffen (stoffen in een meetpakket)

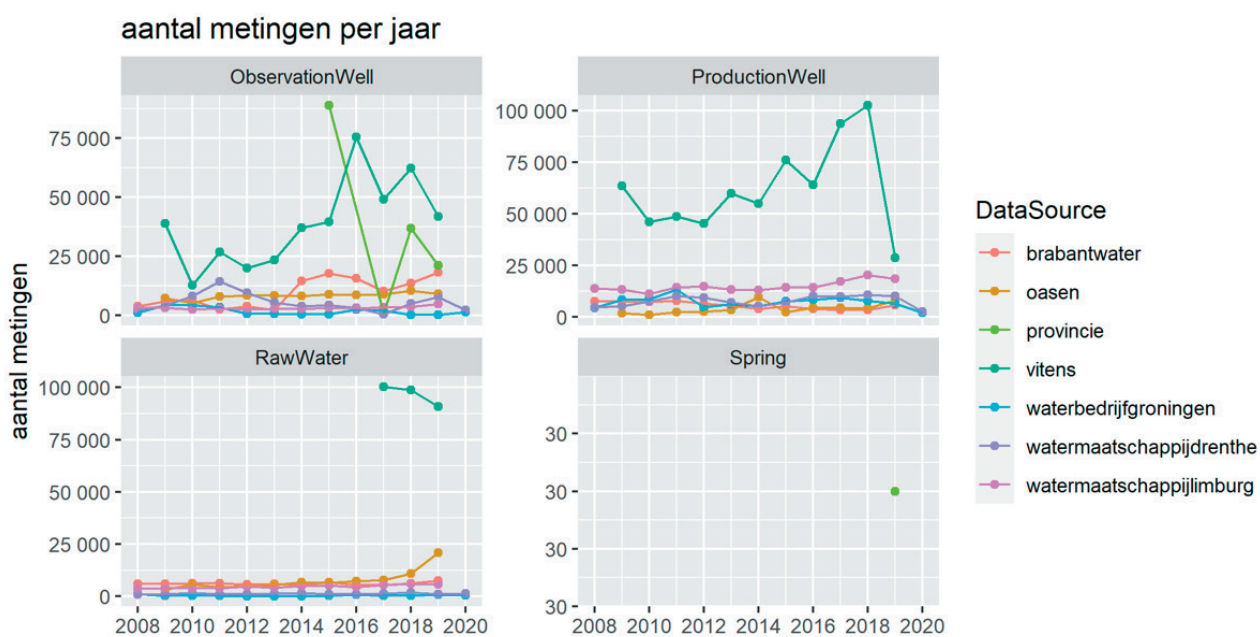
**Aantal aangetroffen stoffen:** Het aantal unieke stoffen waarvan minstens één meting boven de rapportagegrens is gemeten.

### Data per puttype en door de tijd

Om verder inzicht te geven in de data zullen de gegevens hier verder worden uitgesplitst per puttype en gepresenteerd door de tijd. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen het aantal metingen in totaal, aantal metingen boven de rapportagegrens, en het aantal gemeten en aangetroffen stoffen.

**FIGUUR 42**

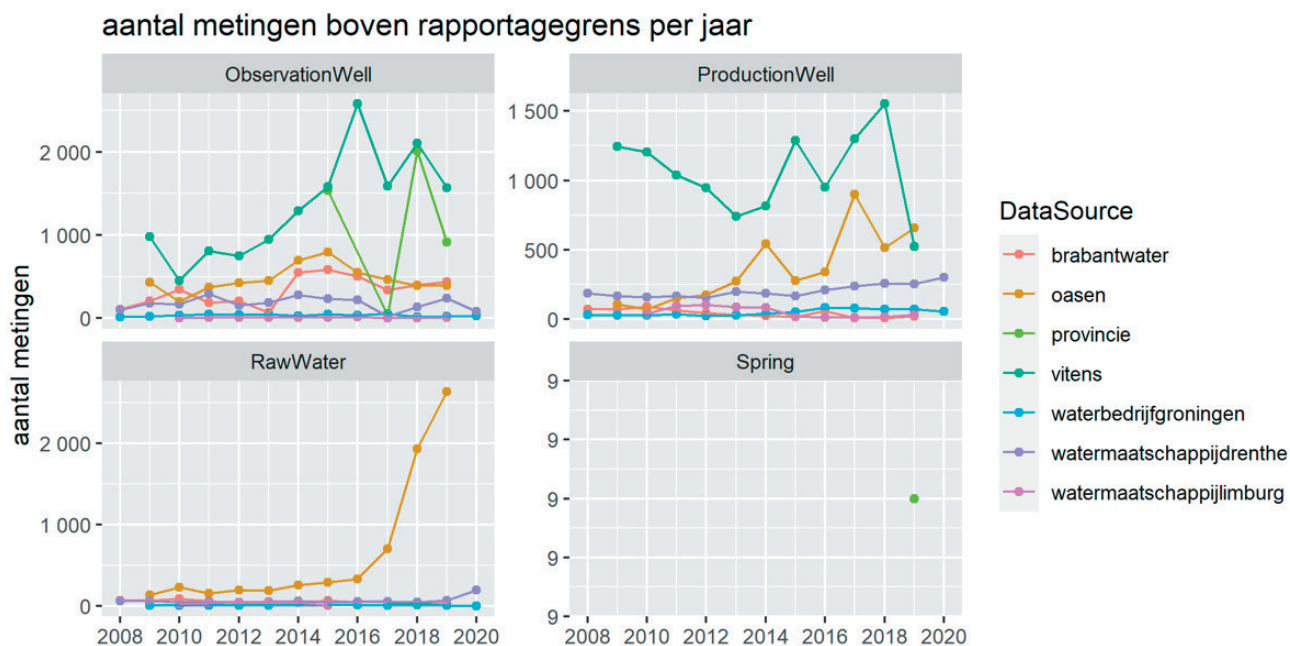
Totaal aantal metingen per jaar.



Figuur 42 geeft het aantal metingen per jaar weer, en Figuur 43 geeft het aantal metingen boven de rapportagegrens op jaarbasis weer. Het patroon van metingen boven de rapportagegrens komt grofweg overeen met het patroon in het aantal metingen. Wel vallen er een aantal dingen op, Watermaatschappij Limburg heeft geen metingen boven de rapportagegrens in deze database, daarom staat Waterleidingmaatschappij Limburg niet in Figuur 43 en Oasen heeft met de tijd een duidelijke stijging van het aantal metingen boven de rapportagegrens in het gemengd ruwwater.

### FIGUUR 43

Totaal aantal metingen boven de rapportagegrens per jaar.



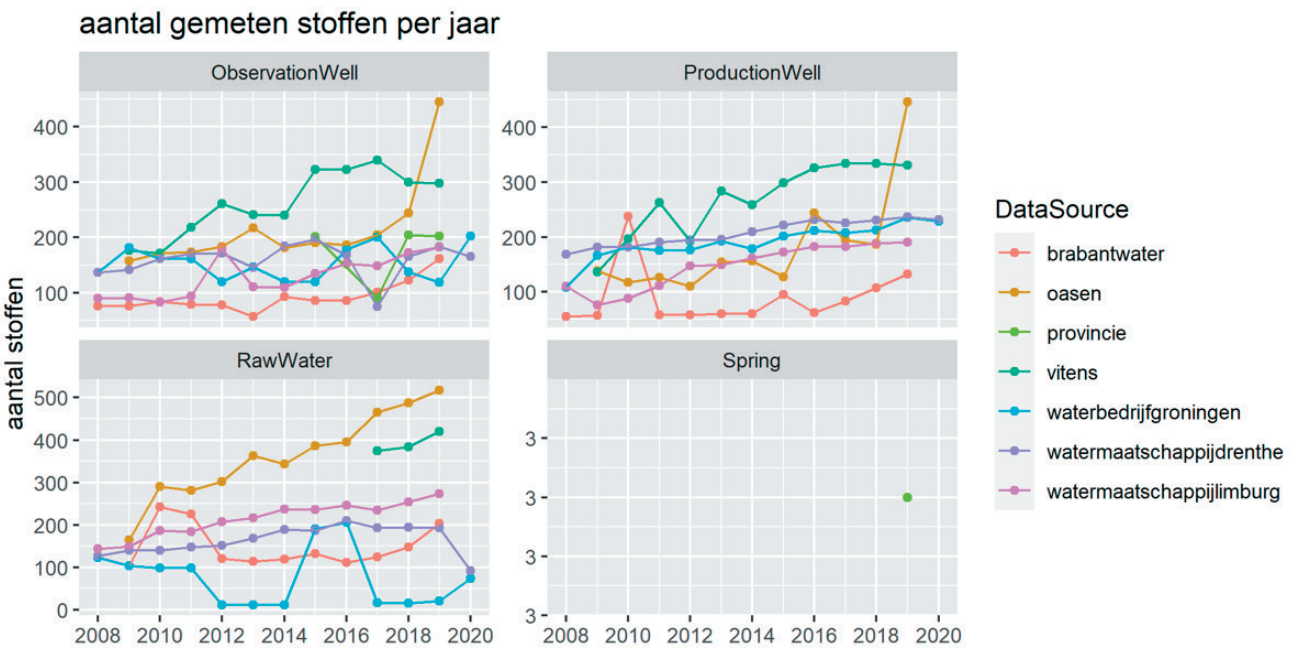
Over het algemeen is er een stijgende trend te zien in het aantal gemeten stoffen over de tijd voor vrijwel alle bronhouders (Figuur 44). Dit geeft aan dat de analysepakketten of in de tijd zijn gewijzigd, of zijn aangevuld. Alleen voor Brabant Water en Waterbedrijf Groningen is deze stijgende trend in het gemengd ruwwater minder duidelijk. Verder valt op dat Vitens en Oasen veel verschillende stoffen meten; deze bedrijven hebben het meest uitgebreide analysepakket.

Het aantal aangetroffen stoffen (Figuur 45) laat een minder duidelijke stijgende trend over de tijd zien dan het aantal gemeten stoffen (Figuur 44). Verder vallen Vitens en Oasen weer op met een relatief groot aantal aangetroffen stoffen.



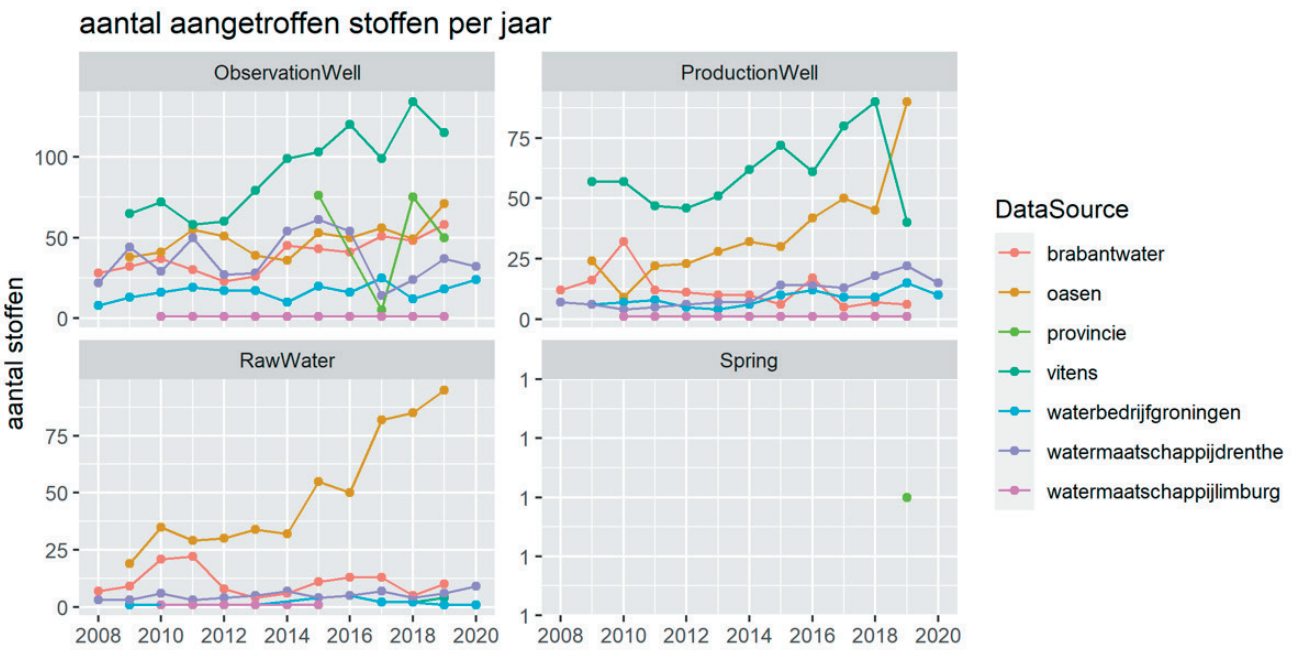
**FIGUUR 44**

Aantal gemeten stoffen over de tijd per bronhouder.



**FIGUUR 45**

Aantal aangetroffen stoffen over de tijd per bronhouder.



## ►► BIJLAGE 2 MEEST VOORKOMENDE OPKOMENDE STOFFEN IN HET NEDERLANDSE GRONDWATER VANUIT DE LITERATUUR

Stof	CAS	Stofgroep	Aantal bronnen	Bronnen
Bisfenol A	80-05-7	Industrial chemical	5	Sjerps <i>et al.</i> , 2017; Van Loon <i>et al.</i> , 2020; Verhagen, F.T., Holsteijn, A., Schipper, M., 2017; Verhagen, F. T., Schipper, M., Avis, L., 2020; Van Driezum <i>et al.</i> , 2020
Carbamazepine	298-46-4	Pharmaceutical	5	Sjerps <i>et al.</i> , 2017; Van Loon <i>et al.</i> , 2020; Verhagen, F.T., Holsteijn, A., Schipper, M., 2017; Verhagen, F. T., Schipper, M., Avis, L., 2020; Van Driezum <i>et al.</i> , 2020
Ethyleendiaminetetra-azijnzuur (EDTA)	60-00-4	Industrial chemical	4	Sjerps <i>et al.</i> , 2017; Van Loon <i>et al.</i> , 2020; Verhagen, F.T., Holsteijn, A., Schipper, M., 2017; Verhagen, F. T., Schipper, M., Avis, L., 2020
Paracetamol	103-90-2	Pharmaceutical	4	Sjerps <i>et al.</i> , 2017; Verhagen, F.T., Holsteijn, A., Schipper, M., 2017; Verhagen, F. T., Schipper, M., Avis, L., 2020; Van Loon <i>et al.</i> , 2020
Perfluorocetaanzuur (PFOA)	335-67-1	Industrial chemical	4	Sjerps <i>et al.</i> , 2017; Van Loon <i>et al.</i> , 2020; Verhagen, F.T., Holsteijn, A., Schipper, M., 2017; Pieke, E.N., Van der Velden-Slootweg, T., 2020
Sulfamethazine/sulfadimidine	57-68-1	Antibiotics	4	Sjerps <i>et al.</i> , 2017; Kivits <i>et al.</i> , 2018; Lahr <i>et al.</i> , 2018; Verhagen, F. T., Schipper, M., Avis, L., 2020
1,2,3-Benzotriazool	95-14-7	Industrial chemical	3	Verhagen, F.T., Holsteijn, A., Schipper, M., 2017; Verhagen, F. T., Schipper, M., Avis, L., 2020; Pieke, E.N., Van der Velden-Slootweg, T., 2020
17- $\beta$ -estradiol	50-28-2	Pharmaceutical	2	Sjerps <i>et al.</i> , 2017; Van Loon <i>et al.</i> , 2020
Fenantreen	85-01-8	PAK	2	Sjerps <i>et al.</i> , 2017; Van Loon <i>et al.</i> , 2020
Fenazon	60-80-0	Pharmaceutical	2	Sjerps <i>et al.</i> , 2017; Van Loon <i>et al.</i> , 2020; Van Driezum <i>et al.</i> , 2020
Lidocaine	137-58-6	Pharmaceutical	2	Pieke, E.N., Van der Velden-Slootweg, T., 2020; Verhagen, F. T., Schipper, M., Avis, L., 2020
Trichloorpropylfosfaat (TCPP)	13674-84-5	Industrial chemical	2	Sjerps <i>et al.</i> , 2017; Van Loon <i>et al.</i> , 2020
1,3-difenyguanidine	102-06-7		1	Verhagen, F.T., Holsteijn, A., Schipper, M., 2017
2,4-dinitrophenol	51-28-5	Pharmaceutical	1	Pieke, E.N., Van der Velden-Slootweg, T., 2020
2,6-dichlorobenzamide	2008-58-4	Pesticide	1	Verhagen, F.T., Holsteijn, A., Schipper, M., 2017
4-methylbenzotriazole	29878-31-7	Industrial chemical	1	Pieke, E.N., Van der Velden-Slootweg, T., 2020
Aceclidine	827-61-2	Pharmaceutical	1	Pieke, E.N., Van der Velden-Slootweg, T., 2020
Acesulfaam	55589-62-3	Voedingsstof	1	Van Driezum <i>et al.</i> , 2020
Amidotrizoïnezuur	117-96-4	Pharmaceutical	1	Verhagen, F. T., Schipper, M., Avis, L., 2020

Stof	CAS	Stofgroep	Aantal bronnen	Bronnen
Azithromycine	83905-01-5	Pharmaceutical	1	Pieke, E.N., Van der Velden-Slootweg,T., 2020
Chloorethaan	75-00-3	Industrial chemical	1	Van Driezum <i>et al.</i> , 2020
Chloormethaan	74-87-3	Industrial chemical	1	Van Driezum <i>et al.</i> , 2020
Cyclamaat	100-88-9	Voedingsstof	1	Van Driezum <i>et al.</i> , 2020
Diethylftalaat (DEP)	84-66-2	Industrial chemical	1	Van Driezum <i>et al.</i> , 2020
Diglyme	111-96-6	Chemical solvent	1	Verhagen, F. T., Schipper, M., Avis, L., 2020
Diisopropylbenzene (DIPB)	100-18-5	Industrial chemical	1	Van Driezum <i>et al.</i> , 2020
Di-isopropylether (DIPE)	108-20-3	Industrial chemical	1	Van Driezum <i>et al.</i> , 2020
Dimethylphthalate	131-11-3	Industrial chemical	1	Pieke, E.N., Van der Velden-Slootweg,T., 2020
Mefenorex	5586-87-8	Drug	1	Pieke, E.N., Van der Velden-Slootweg,T., 2020
Melamine	108-78-1	Industrial chemical	1	Pieke, E.N., Van der Velden-Slootweg,T., 2020
Mercaptobenzothiazole	149-30-4	Industrial chemical	1	Pieke, E.N., Van der Velden-Slootweg,T., 2020
Methyl-tertiar-butylether (MTBE)	1634-04-4	Industrial chemical	1	Verhagen, F.T., Holsteijn, A., Schipper, M., 2017
metolachlor ESA	171118-09-5	Pesticide	1	Verhagen, F.T., Holsteijn, A., Schipper, M., 2017
metolachlor OA	152019-73-3	Pesticide	1	Verhagen, F.T., Holsteijn, A., Schipper, M., 2017
Perfluorbutaansulfonylamide(N-methyl)acetaat (MeFBSAA)	159381-10-9	Industrial chemical	1	Verhagen, F.T., Holsteijn, A., Schipper, M., 2017
Perfluorbutaanuur (PFBA)	375-22-4	Industrial chemical	1	Verhagen, F.T., Holsteijn, A., Schipper, M., 2017
Perfluoroheptanoic acid (PFHPA)	375-85-9	Industrial chemical	1	Verhagen, F.T., Holsteijn, A., Schipper, M., 2017
Sulfamethoxazole	723-46-6	Antibiotics	1	Kivits <i>et al.</i> , 2018
Tert/butanol	75-65-0	Industrial chemical	1	Van Driezum <i>et al.</i> , 2020
Tetrahydrofuraan	109-99-9	Industrial chemical	1	Van Driezum <i>et al.</i> , 2020
Toltrazuril(-sulfon)	69004-04-2	Veterinary drug	1	Lahr <i>et al.</i> , 2018
Tolueen	108-88-3	Industrial chemical	1	Van Loon <i>et al.</i> , 2020

## TOELICHTING BRONNEN

Pieke, E.N., Van der Velden-Slootweg, T. (2020). Evaluatie screening Maasstroomgebied 2019.	13 meest voorkomende stoffen in grondwater (inclusief 3 pesticiden, anders 10 stoffen).
Verhagen, F.T., Holsteijn, A. & Schipper, M. (2018). Feitenrapport Brede Screening bestrijdingsmiddelen en opkomende stoffen Maasstroomgebied 2016.	Top 10 meest aangetroffen stoffen (gemeten boven rapportagegrens)
Verhagen, F. T., Schipper, M., Avis, L. (2020). Feitenrapport Smalle Screening bestrijdingsmiddelen en opkomende stoffen Maasstroomgebied 2019.	Top 5 meest aangetroffen geneesmiddelen en top 3 meest aangetroffen opkomende stoffen
Sjerps, R.M.A.Maessen, M.Raterman, B.W.Laak, T.L. terStuyfzand, P.J. (2017). Grondwaterkwaliteit Nederland 2015-2016: chemie grondwatermeetnetten en nulmeting nieuwe stoffen.	Top 5 veelvoorkomende geneesmiddelen en top 5 veelvoorkomende overige stoffen (samengesteld aan de hand van de mate van aantreffen van de stof (meer dan 3% van de metingen) die de signaleringswaarde van 0,1 µg/L minstens één keer overschreden)
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. <a href="https://doi.org/10.18174/455340">https://doi.org/10.18174/455340</a>	Stoffen die 2x of vaker aangetroffen zijn in grondwater
Kivits, T., Broers, H. P., Beeltje, H., Van Vliet, M., & Griffioen, J. (2018). Presence and fate of veterinary antibiotics in aged groundwater in areas with intensive livestock farming. <i>Environmental Pollution</i> , 241, 988-998. <a href="https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.085">https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.085</a>	Indien vaker dan 10x aangetroffen boven detectielimiet
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 <a href="https://library.kwrwater.nl/publication/61459076/">https://library.kwrwater.nl/publication/61459076/</a>	Top 5 veelvoorkomende geneesmiddelen en top 5 veelvoorkomende overige stoffen (samengesteld aan de hand van de mate van aantreffen van de stof (meer dan 3% van de metingen) die de signaleringswaarde van 0,1 µg/L minstens één keer overschreden)
Van Driezum, I.H., Beekman, J., van Loon, A.H., van Leerdam, R., Wuijts, S., Rutgers, M., Boekhold, S., Dik, H., Zijp, M. (2020). Staat Drinkwaterbronnen. RIVM rapport.	Top 10 (12) van meest aangetroffen opkomende stoffen in grondwaterwinningen in concentraties die de signaleringswaarde overschrijden

## ▶▶ BIJLAGE 3 VRAAGINVENTARISATIE T.B.V. KENNISIMPULS GRONDWATER

### # TOP 10 GEPRIORITEERDE SUBVRAGEN

- 1 Ik wil inzicht in de kansen en bedreigingen van infiltratie van oppervlaktewater en andere klimaat adaptieve maatregelen op de kwaliteit van het grondwater, zodat waterschappen en provincies afwegingen kunnen maken welke techniek waar gewenst is t.a.v. grondwaterkwaliteit en waar infiltratie van oppervlaktewater een oplossing kan bieden voor het tegengaan van verdroging.
- 2 Ik wil per stof(groep) inzicht in de manier van verspreiding door het grondwater, zodat per stof(groep) risico's op verspreiding kunnen worden ingeschat en een handelingskader gevormd kan worden.
- 3 Ik wil indicatoren voor vergrijzing: de verspreiding van verontreinigingen in het grondwater gemeten aan de hand van een aantal signaalstoffen en -waarden, zodat ik kan bepalen bij welke (dreigende) overschrijdingen van signaalwaarden ik moet ingrijpen.
- 4 Ik wil inzicht in de toekomstige (cumulatieve) effecten van open- en gesloten koudewarmte opslag in de bodem op de kwaliteit van het grondwater, zodat ik een inschatting kan maken wat dit betekent voor: de provinciale regelgeving voor gwb'g's en ASV's; de ecologie en waterkwaliteit in het oppervlaktewatersysteem.
- 5 Ik wil inzicht in de risico's voor mens en milieu van mengsels van verontreinigingen (combitoxiciteit) in de bodem, zodat we handelingsperspectieven kunnen ontwikkelen, dit onderwerp meer aandacht krijgt bij eigen bestuurders en op landelijk niveau in o.a. het toelatingsbeleid.
- 6 Ik wil inzicht in het voorkomen van risicovolle stoffen in andere compartimenten zoals lucht, water en effluent en hoe deze in het grondwater terecht komen, zodat we inzicht hebben in mogelijke toekomstige risicovolle stoffen in grondwater.
- 7 Ik wil inzicht in de beleidsinstrumenten die er zijn om de risico's van verschillende stofgroepen te mitigeren en voor welke stofgroepen er nog gaten in de aanpak zitten, zodat er we handelingsperspectieven kunnen ontwikkelen voor alle stoffen.
- 8 Ik wil inzicht in de risico's van vergrijzing/verontreinigingen voor de drinkwaterwinning en overige winningen voor menselijke consumptie, zodat urgentiebesef gecreëerd kan worden en handelingskaders kunnen worden opgesteld.
- 9 Ik wil een indeling van gewasbeschermingsmiddelen, industriële stoffen en andere opkomende stoffen in stofgroepen op afbraakroute en/of andere eigenschappen, zodat er per stofgroep een handelingskader gevormd kan worden.
- 10 Ik wil een overzicht van mogelijke maatregelen om de risico's van bodemenergiesystemen (open en gesloten) te mitigeren, zodat de grond- en oppervlaktewaterkwaliteit kan worden beschermd.

▶▶ **BIJLAGE 4**  
**AANZET TOT EEN INDICATOR, DIE DE ERNST VAN**  
**VERGRIJZING AANGEEFT VOOR HET BESCHERMDOEL 'DE MENS',**  
**GERICHT OP BLOOTSTELLING TEN GEVOLGE VAN**  
**DRINKWATERCONSUMPTIE UIT PRIVÉWINNING**

---



Kennisimpuls  
**WATERKWALITEIT**

# Op weg naar een breed toepasbare indicator voor vergrijzing van grondwater

Julia Hartmann (RIVM), Frank Swartjes (RIVM), Emiel Rorije (RIVM), Nanne Hoekstra (Deltares), Arnaut van Loon (KWR), Joris Dijkstra (TNO), Peter Schipper (WUR) en Cors van den Brink (Royal HaskoningDHV)

## 1. INLEIDING

### Grondwatersystemen zijn kwetsbaar voor vergrijzing

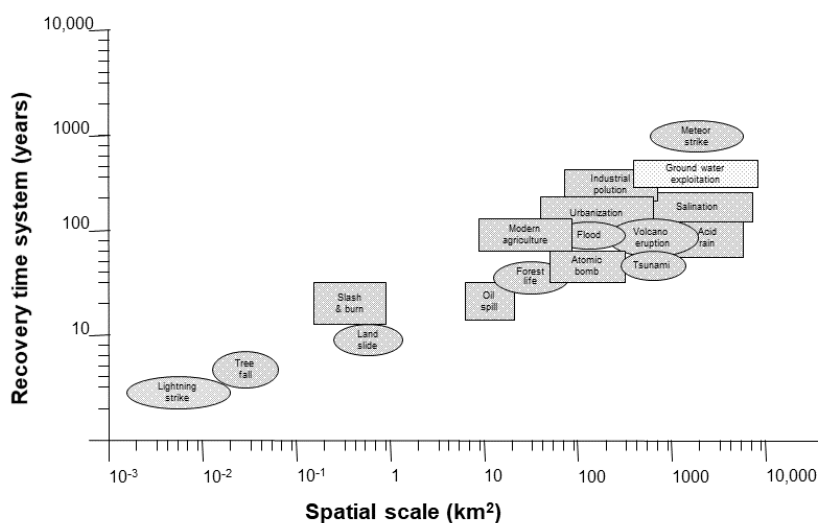
Door menselijke activiteiten komen steeds meer verontreinigende stoffen in het grondwater. Ondertussen bereiken verontreinigingen uit het verleden steeds grotere diepte in het grondwater<sup>1</sup>. De voortschrijdende, sluimerende, beïnvloeding van de chemische kwaliteit van grondwater tot steeds grotere diepte wordt 'vergrijzing' genoemd. Kenmerkend is dat de aard van de beïnvloeding van plaats tot plaats verschilt, doordat verontreinigingen die op verschillende plaatsen, of na elkaar, in het grondwater terecht komen, pas bij de uitstroompunten met elkaar mengen.

Vergrijzing van het grondwater is een sluipend proces doordat concentraties van individuele stoffen vaak laag zijn. Het prevent & limit beoordelingskader van de KRW en GWR is niet geëffectueerd in Nederland en daarom wordt de belasting met lage concentraties stoffen niet aangepakt. Tegelijkertijd worden grondwatersystemen gekenmerkt door een lange hersteltijd, oplopend tot vele honderden jaren voor supra regionale grondwatersystemen, en een grote ruimtelijk schaal, waardoor ze kwetsbaar zijn voor ruimtelijke functies en activiteiten die op of in het grondwatersysteem plaatsvinden (Figuur 1). Grondwater is dus onderdeel van een traag reagerend systeem, waardoor het lang duurt voordat een stof op grotere diepte is aangekomen. Om dezelfde reden duurt het lang voordat een maatregel om het grondwatersysteem te herstellen effect heeft.

---

<sup>1</sup> 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.





Figuur 1. Relatie tussen de ruimtelijke schaal van natuurlijke en antropogene ingrepen/rampen en de geschatte hersteltijd. Natuurlijke ingrepen/rampen zijn weergegeven als ellips, antropogene ingrepen/rampen als rechthoek (Dobson et al., 1997)<sup>2</sup>

### Bescherming barrières helpt ook tegen vergrijzing

Verontreiniging (punt en diffuus) van het grondwater zal nooit volledig voorkomen kunnen worden. Vanwege de combinatie van de kwetsbaarheid voor verontreiniging enerzijds en de lange hersteltijd anderzijds, én het mengen van verschillende verontreinigingen ter plaatse van onttrekkingen en kwelgebieden, ligt het voor de hand vergrijzing te benaderen vanuit het voorzorgsprincipe. Dit betekent dat het beheer en gebruik van grondwatersystemen ingericht moet zijn op het voorkomen van verontreinigingen en bij twijfel over de effectiviteit van mitigerende maatregelen af te zien van bepaalde functies of activiteiten. Dit betekent ook dat het beheer / grondwaterbeschermingsbeleid zich niet beperkt tot het reguleren van aan functies en activiteiten gerelateerde inbreng van stoffen, maar zich ook richt op bescherming van natuurlijke barrières die er voor zorgen dat verontreinigende stoffen zich niet ongehinderd kunnen verspreiden in het grondwatersysteem. Bij natuurlijke barrières kan worden gedacht aan fysische barrières (slecht doorlatende lagen), geochemische barrières (reactieve bestanddelen die stoffen kunnen binden of omzetten) en bodembioïologische barrières (afbraak van stoffen door bodemorganismen).

<sup>2</sup> Dobson A.P., A.D. Bradshaw en A.J.M. Baker, 1997. Hopes for the future: Restoration ecology and conservation biology. Science (277), 25 July 1997: 515-522.

## Grondwater is op veel plaatsen en tot op grote diepte vergrijsd

De druk op het Nederlandse grondwater is in de afgelopen decennia niettemin toegenomen: meer ontwatering, meer onttrekkingen, meer en dieper gebruik van de bodem voor diverse functies. Daarnaast is de belasting met verontreinigende stoffen hoog, onder andere door de intensieve landbouw, sterke verstedelijking en het dichte (spoor)wegennet. Een deel van de stoffen die voor vergrijzing zorgen, komt van nature in het grondwater voor. De concentraties van deze stoffen kunnen echter verhoogd zijn, ten gevolge van menselijke inbreng in de bodem of het grondwater of door waterhuishoudkundige ingrepen die beiden tevens het uit evenwicht raken van de biogeochemie tot gevolg kunnen hebben. Het andere deel betreft milieuvreemde stoffen, zoals resten van bestrijdingsmiddelen, geneesmiddelen en diverse andere organische microverontreinigingen of hun afbraakproducten. Meetgegevens van provincies geven aan dat in 85% van de waarnemingsfilters milieuvreemde stoffen worden aangetroffen<sup>3</sup>. De uitgebrachte Nationale Analyse Waterkwaliteit<sup>4</sup> gebruikt de term 'vergrijzing' en signaleert daarbij knelpunten omdat grondwater gebruikt wordt als grondstof voor drinkwater, frisdrank en bier, voor beregening van voedingsgewassen en het drenken van vee en omdat bepaalde ecosystemen (terrestrische en aquatische) afhankelijk zijn van voldoende schoon grondwater. Daar komt bij dat er in de toekomst nieuwe gebruiksbehoeften voor grondwater kunnen ontstaan die momenteel nog niet worden voorzien - zoals in het recente verleden grondwater als bron van energie is ontdekt - en die van invloed kunnen zijn op de grondwaterkwaliteit of barrières. Ontwikkelingen wijzen er op dat de drinkwaterbehoefte de komende decennia zal toenemen. Daarom worden door de provincies aanvullende strategische grondwatervoorraden voor de drinkwatervoorziening aangewezen. Ten slotte heeft een grondwatersysteem net als ieder natuurlijk systeem een intrinsieke waarde en zou het ons als gebruikers van dat systeem sieren dit te beschermen, ook als we deze intrinsieke (meer)waarde nog niet volledig doorgronden.

Er is, kortom, bij bestuurders, beleidsondersteuners en belanghebbenden behoefte aan inzicht in de mate en ernst van vergrijzing voor elk van de bovengenoemde beschermdoelen. Een praktisch instrument dat in deze behoefte aan inzicht voorziet, noemen we hier een "indicator" voor de vergrijzing van grondwater. Daarmee kan

---

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> Van Gaalen, F., L. Osté & E. van Boekel, 2020. Nationale analyse waterkwaliteit. Onderdeel van de Delta-aanpak Waterkwaliteit. PBL-publicatienummer: 4002, The Hague, PBL Planbureau voor de Leefomgeving. [https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-nationale-analyse-waterkwaliteit-4002\\_0.pdf](https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-nationale-analyse-waterkwaliteit-4002_0.pdf)

(1) de voortgang (kwaliteitsverbetering of -verslechtering) beter zichtbaar worden gemaakt, en (2) de knelpunten voor verschillende doelgroepen in beeld worden gebracht.

### Doel notitie

Om vergrijzing te kunnen duiden, karteren of inzicht te kunnen geven in de omvang en ontwikkeling van de vergrijzing is een indicator nodig. In deze notitie wordt een aanzet tot een indicator beschreven die de ernst van vergrijzing aangeeft voor vooralsnog alleen het beschermdoel 'de mens', en is gericht op één blootstellingsroute, namelijk blootstelling ten gevolge van drinkwaterconsumptie. Deze indicator is één van de elementen om later op vergelijkbare wijze tot een set van indicatoren te komen die gericht zijn op andere beschermdoelen. Vergrijzing is een problematiek die zowel over milieuvreemde als milieu-eigen stoffen gaat. In principe richt de hieronder voorgestelde vergrijzingsindicator zich op beide stofgroepen.

De hier voorgestelde indicator geeft semi-kwantitatief aan in welke mate grondwater is beïnvloed door stoffen die potentieel schadelijk kunnen zijn voor de mens door inname via drinkwater. Met de voorgestelde indicator kunnen trends in vergrijzing inzichtelijk worden gemaakt (kwaliteitsverbetering of -verslechtering), waardoor de "ernst" van vergrijzing beter zichtbaar wordt in de tijd<sup>5</sup>.

Het navolgende beschrijft de gehanteerde procedure om te komen tot een indicator en de wijze waarop deze is uitgewerkt.

## 2. PROCEDURE

De voorgestelde vergrijzingsindicator voor grondwater is gebaseerd op de screeningsmethodiek voor Persistente (P), Mobiele (M) en Toxische (T) stoffen, zoals ontwikkeld door het RIVM in het kader van de PMT-Themagroep voor oppervlaktewater (onderdeel van de IenW-Werkgroep Aanpak Opkomende stoffen). Er komen stoffen in het (grond)water terecht met persistente, mobiele en toxische (PMT) of zeer persistente en zeer mobiele (vPvM) eigenschappen. Stoffen met deze

---

<sup>5</sup> De voorgestelde indicator geeft geen indicatie van het volume vergrijst grondwater. Daarvoor moet een koppeling gelegd worden tussen de locaties (plaats én diepte) van de beschikbare meetfilters in de zoete grondwaterlichamen en de grondwaterstromingspatronen. Voor zo'n koppeling kan gedacht worden aan het toepassen van stroombaanberekeningen (particle tracking), herkomstberekening van alle meetfilters en het afleiden van intrekgebieden voor alle exfiltratiegebieden (winningen, drainerende watergangen, kwelgebieden) op basis van stroombaanberekeningen vanaf het maaiveld.

eigenschappen vormen onder andere een risico voor de drinkwatervoorziening; ze zijn immers persistent in het milieu, verplaatsen zich eenvoudig in het milieu (zijn mobiel) en zijn mogelijk schadelijk voor de mens en/of het milieu. Om stoffen met deze eigenschappen zo vroeg mogelijk te kunnen identificeren, werd de PMT-screeningsmethodiek ontwikkeld. Met deze methodiek worden stoffen gescoord op een 0 tot 1- schaal op basis van hun P-, M- en T-eigenschappen. Deze scoring is niet gebaseerd op experimentele data (vaak afwezig voor opkomende stoffen), maar op Quantitative Structure-Activity Relationship (QSAR)-voorspellingen<sup>6</sup>. Deze screeningsaanpak voor PMT-stoffen is aangepast om te gebruiken als aanzet tot een indicator voor vergrijzing van grondwater door:

- De methode aan te passen voor grondwater. Hiervoor is M uit de aanpak gehaald, omdat aanwezigheid in grondwater al voldoende bewijs is voor het mobiel zijn van de stof. Om eventueel te nuanceren tussen meer of minder mobiele stoffen, zou hierbij overwogen kunnen worden om de M indirect toch mee te laten wegen door in plaats van een persistentiescore, een verspreidingscore te berekenen (zie hoofdstuk 5);
- De concentratieniveaus, zo mogelijk ook ten opzichte van  $MTR_{\text{humaan}}$  mee te nemen waarmee de aanpak niet meer alleen 'hazard-gebaseerd' is (= signalerend voor stoffen die mogelijk toxische eigenschappen hebben) maar een inschatting geeft van het risico dat gepaard gaat met het voorkomen van de betreffende stoffen in het grondwater. Hierbij wordt de toxiciteitscore (T) gekoppeld aan de vraag 'hoe erg is een bepaald concentratieniveau van een bepaalde stof of aantal stoffen'.

---

<sup>6</sup> Publicatie van deze methodiek wordt verwacht in 2022, voor meer informatie wordt voor nu verwezen naar de door het RIVM gegeven presentatie tijdens de PMT workshop in maart 2021.

### 3. UITWERKING

#### 3.1 Berekening indicator

De voorgestelde indicator<sup>7</sup> ziet er als volgt uit:

$$Indicator = 1 - \prod (1 - Persistentiescore^{0,5}_{stof i} * Toxiciteitsscore^{0,5}_{stof i}) \quad [Vgl. 1]$$

Waarbij voor elke stof die gemeten is op het meetpunt de **Persistentiescore** en **Toxiciteitsscore** wordt berekend en deze vervolgens met elkaar vermenigvuldigd worden aan de hand van Vgl. 1. De hoogte van de score geeft de ernst van de vergrijzing van het grondwater op dat meetpunt aan vanuit het perspectief van directe drinkwaterconsumptie, op een schaal van 0 tot 1 (0 = niet beïnvloed; 1 = sterk beïnvloed). De ernst van de vergrijzing kan op deze manier vergeleken worden in de tijd, met de diepte en tussen locaties.

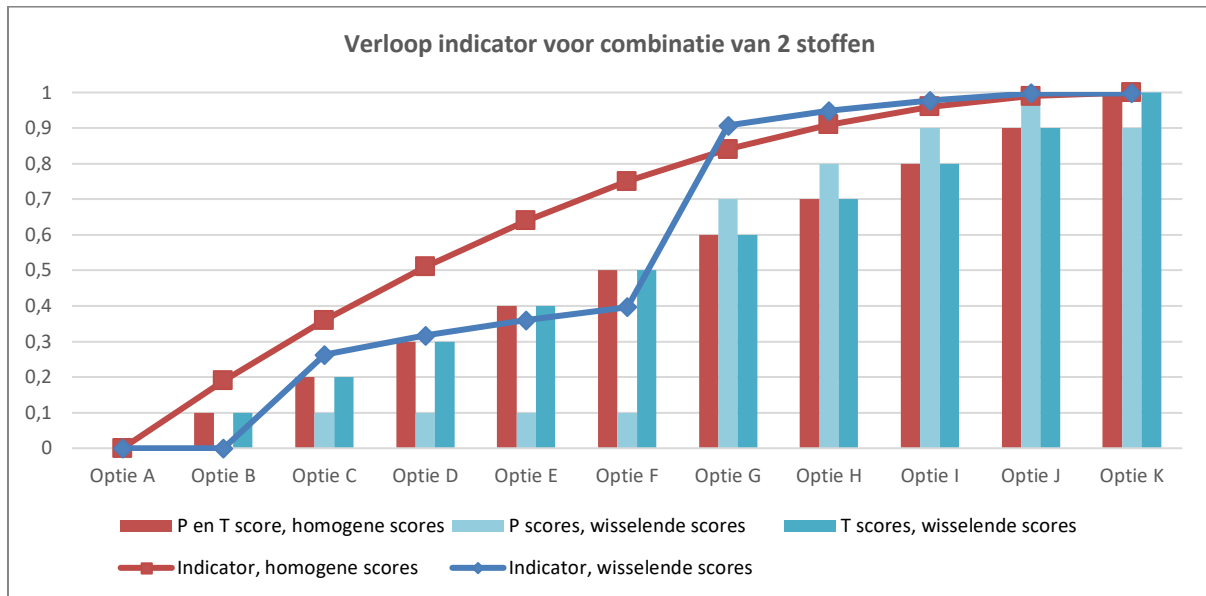
Om gevoel te krijgen voor de indicator in Vgl. 1 is in onderstaande tabel met bijbehorende grafiek het verloop van de indicator te zien (optie A t/m K) voor twee hypothetische situaties. Situatie 1 geeft het verloop weer voor 11 combinaties van twee stoffen die beide gelijk scoren op zowel P als T (homogene scores in de grafiek). Situatie 2 geeft het verloop van de indicator weer voor combinaties van twee stoffen die ongelijk scoren op P en T.

Situatie 1: grondwatermonster bevat twee stoffen met gelijke persistentie en toxiciteit											
Stof 1	Optie A	Optie B	Optie C	Optie D	Optie E	Optie F	Optie G	Optie H	Optie I	Optie J	Optie K
Stof 1, P score	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Stof 1, T score	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
stof 2											
Stof 2, P score	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Stof 2, T score	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Indicator	0.00	0.19	0.36	0.51	0.64	0.75	0.84	0.91	0.96	0.99	1.00
Situatie 2: grondwatermonster bevat twee stoffen met wisselende persistentie en toxiciteit											
stof 1	Optie A	Optie B	Optie C	Optie D	Optie E	Optie F	Optie G	Optie H	Optie I	Optie J	Optie K

<sup>7</sup> Het wiskundige teken  $\prod$  moet als volgt gelezen worden:

$\prod$	$\prod$	product	het product van .. voor .. van .. tot ..
		$\prod_{k=1}^n a_k$ wordt gelezen als "Het product van $a_k$ voor $k$ van 1 tot $n$ ". Dit betekent: $a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n$ .	
		$\prod_{k=1}^4 (k+2) = (1+2) \cdot (2+2) \cdot (3+2) \cdot (4+2) = 360$	

Stof 1, P score	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.7	0.8	0.9	1	0.9
Stof 1, T score	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
<i>stof 2:</i>											
Stof 2, P score	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.9	0.9	0.9	1	0.9
Stof 2, T score	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Indicator	0.00	0.00	0.26	0.32	0.36	0.40	0.91	0.95	0.98	1.00	1.00



Figuur 2. Verloop van de score van de semi-kwantitatieve indicator voor een combinatie van twee stoffen op een schaal van 0 (= niet beïnvloed) tot 1 (= sterk beïnvloed).

Het is overigens nog de vraag of de indicator asymptotisch naar 1 moet lopen. Hiermee zou wel tot uitdrukking worden gebracht dat een lichte vergrijzing van ongerept grondwater erger is dan verdere vergrijzing van grondwater dat al beïnvloed is. Maar de vergrijzingsindicator sluit dan niet goed aan op conventionele aanduidingen van de verontreinigingsgraad gebaseerd op grondwaterkwaliteitsnormen. De vraag is in hoeverre dat laatste nodig is.

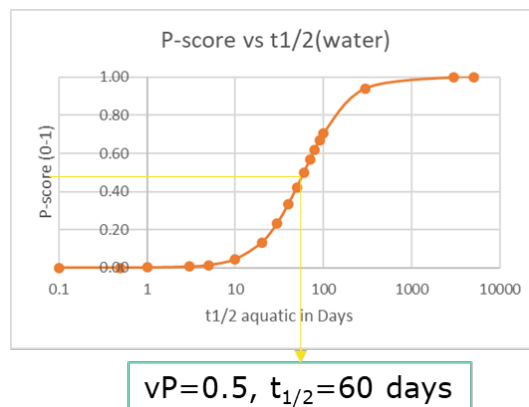
### 3.2 Persistentiescore

De **Persistentiescore** van elke gemeten stof zal niet zoals in de RIVM PMT-screeningssysteem worden gebaseerd op het Biowin3 model van de EPI Suite™ software, aangezien dit de halfwaardetijd (DT50) in oppervlaktewater indiceert. Afbraak in grondwater van een stof kan verschillen van de afbraak van dezelfde stof in oppervlaktewater. Daarom is het voorstel om de persistentiescore voor de voorgestelde vergrijzingsindicator te berekenen met behulp van het door KWR ontwikkelde model AquaPriori. In dit model worden de DT50 en adsorptiecoëfficiënt

van onbekende stoffen in grondwater geschat op basis van de vergelijkbare eigenschappen van bekende stoffen.

De DT50 berekend met AquaPriori zal daarna omgezet worden naar een schaal van 0 tot 1. Dit is alleen nodig als het gewenst is om Vgl. 1 voor de indicator te gebruiken. Anders zal er nagedacht moeten worden over een andere functie om P en T (of verspreiding en T) met elkaar te combineren tot een indicator.

Hieronder is een voorbeeld gegeven van de transformatiefunctie die gebruikt wordt binnen de RIVM PMT-screeningssysteematiek voor het transformeren van de DT50 in oppervlaktewater van een stof naar een getal tussen 0 en 1 (zie figuur 3). Deze S-curve is gecentreerd rondom de afkappunten voor persistente (stoffen met een halfwaardetijd tussen de 40 en 60 dagen) en zeer persistente stoffen (stoffen met een halfwaardetijd van 60 dagen of meer) onder REACH. Het lijkt relevant voor grondwater aanzienlijk langere tijdsduren als afkappunten voor persistent en zeer persistent te hanteren.



Figuur 3. Voorbeeld van de transformatiefunctie voor het transformeren van de DT50 in oppervlaktewater van een stof naar een getal tussen 0 en 1.

### 3.3 Eventuele verspreidingscore

Zoals genoemd in paragraaf 3.1, kan overwogen worden om in plaats van een persistentiescore een **verspreidingscore** te berekenen (zie hoofdstuk 5) om invulling te geven aan de combinatie van de persistentiescore met een mobiliteitscore.

### 3.4 Toxiciteitscore

De voorgestelde berekening van de **Toxiciteitscore** is afhankelijk van welke risicogegevens voorhanden zijn voor de aangetroffen stoffen. Onderstaand worden drie opties beschreven:

- Optie 1: Geen voorhanden zijnde risicogegevens

- Optie 2: Er is een Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau ( $MTR_{\text{humaaan}}$ ) voor blootstelling
- Optie 3: Er is een risicogrenswaarde voor specifieke beschermdoelen

#### Optie 1: Geen voorhanden zijnde risicogegevens

Als er geen risicogegevens voorhanden zijn, kan de Toxiciteitsscore op drie manieren berekend worden:

- Optie 1A: volgens de T-score uit de PMT-systematiek
- Optie 1B: volgens de T-score uit de PMT-systematiek, in combinatie met de concentratie
- Optie 1C: op basis van de Threshold of Toxicological Concern (TTC) aanpak

##### *Optie 1A: T-score uit de PMT-systematiek*

De T-score uit de PMT-systematiek is gebaseerd is op de QSAR toolbox, de ZZS similarity tool en Toxtree. Deze T-score is geen risico-score maar een hazard-score. De T-score geeft in dit geval de verwachting aan dat een stof schadelijke eigenschappen heeft op basis van diens molecuulstructuur in vergelijking met bekende toxische stoffen. Hierbij worden de volgende eindpunten meegenomen: carcinogeniteit (C), mutageniteit (M), reprotoxiciteit (R), hormoonverstoring (Endocrine Disruption, ED), als ook generieke toxiciteit geïndiceerd door de Cramer klassen<sup>8</sup> en of de stof tot de groep van esters of carbamaten behoort (WHO en EFSA, 2016):

$$\text{Hazard - score} = 1 - \prod (1 - \text{weight} * \text{score}_{C, M, R, ED, \text{Cramer}, OP\text{-esters, carbamates})} \quad [\text{Vgl. 2}]$$

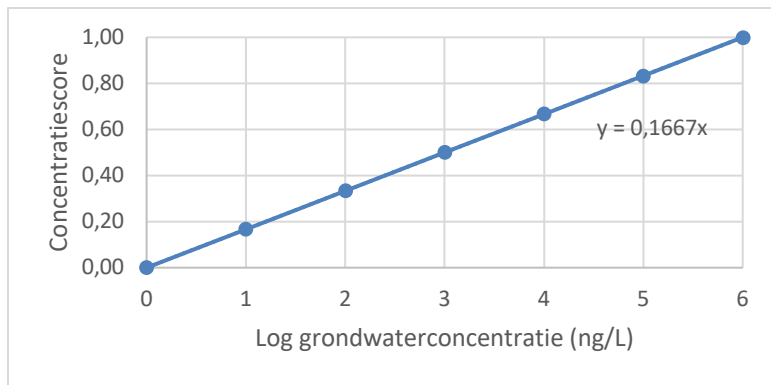
##### *Optie 1B: T-score uit de PMT-systematiek, in combinatie met concentratie*

Als deze hazard-score wordt vermenigvuldigd met de concentratie biedt dat de mogelijkheid om verschillen tussen monsters waarin dezelfde stof in verschillende concentraties is aangetroffen mee te nemen in de vergrijzingsindicator. Hiervoor zal de gemeten concentratie in grondwater getransformeerd moeten worden naar een 0 tot 1 schaal. In figuur 4 is een arbitrair voorbeeld gegeven van een mogelijke lineaire transformatiefunctie.

---

<sup>8</sup> De indeling in Cramer-klassen, zoals initieel voorgesteld door Cramer et al. (1978), gebeurt op basis van de chemische structuur van de stoffen en de op basis daarvan verwachte toxiciteit.





**Figuur 4.** Voorbeeld van de transformatiefunctie voor het transformeren van verschillende concentratieniveaus van een stof naar een getal tussen 0 en 1.

Een ander voorstel zou zijn om een transformatiefunctie op te zetten aan de hand van de drinkwaterkwaliteitsnorm (bijvoorbeeld de signaleringswaarde). Voor het gebruiken van de aanpak voor andere beschermdoelen betekent dit dat hiervoor een met dat beschermdoel corresponderende norm moet worden gehanteerd. De transformatiefunctie zou voor vaak voorkomende concentraties gevoelsmatig in ieder geval in een 'redelijke score' tussen 0 en 1 moeten uitmonden.

Net als bij de persistentiescore, moet hier worden opgemerkt dat het schalen van de toxiciteitscore tussen 0 en 1 alleen noodzakelijk is bij het gebruik van Vgl 1 voor het berekenen van de indicator.

De toxiciteitscore om te gebruiken in de formule voor de vergrijzingsindicator wordt in dat geval:

$$\text{Toxiciteitscore} = \text{hazard} - \text{score} * \text{concentratiescore}$$

[Vgl. 3]

#### *Optie 1C: De Threshold of Toxicological Concern (TTC) aanpak*

Ook zou overwogen kunnen worden om in het geval van geen voorhanden zijnde risicogegevens, de Threshold of Toxicological Concern (TTC)-aanpak te gebruiken. Deze pragmatische aanpak is er op gebaseerd dat in geval dat stof-specifieke toxiciteitsdata ontbreken, er toch een acceptabele drempel voor blootstelling geschat kan worden. In dat geval wordt gebruik gemaakt van een vergelijk tussen de molecuulstructuur van de stof met stoffen uit dezelfde structuur-klasse en gegevens over het gedrag van stoffen in het lichaam (absorptie, distributie, metabolisme, uitscheiding in het lichaam) en van blootstellingsgegevens<sup>9</sup>. De procedure gaat met name op voor stoffen met lage molecuulmassa. De basis voor de TTC is een data-analyse van stoffen waarvoor wel data beschikbaar zijn. Op basis van deze data zijn

<sup>9</sup> JECFA, 2006. Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. Sixty-Fifth Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, June 7–16, 2005, Geneva. World Health Organization (WHO); Geneva, Switz., WHO Technical Report Series, No. 934. Available from: [http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO TRS 934.pdf](http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_934.pdf).

drempelwaarden geschat, waaronder sprake is van acceptabele risico's. Deze grenzen zijn afgeleid voor vijf stofklassen en kunnen vervolgens gehanteerd worden voor niet-onderzochte stoffen<sup>10</sup>. De volgende drempelwaarden voor blootstelling (in µg per kg lichaamsgewicht per dag; µg/kg lg/dag) gelden per TTC-klasse:

- Stoffen met een alert voor genotoxisch carcinogene werking: 0,0025 µg/kg lg/dag
- Organosfosfaten en carbamaten: 0,3 µg/kg lg/dag
- Cramer klasse III 1,5 µg/kg lg/dag
- Cramer klasse II 9,0 µg/kg lg/dag
- Cramer klasse I 30 µg/kg lg/dag

Deze drempelwaarden voor blootstelling worden bij gebrek aan humaan toxicologische gegevens ook gebruikt voor het afleiden van drinkwaterrichtwaarden (van der Aa et al., 2018) en zouden in dit geval kunnen worden gebruikt om een risicoscore te berekenen:

$$Risicoscore = \frac{\text{blootstelling}}{TTC}$$

[Vgl. 4]

Er zijn een aantal mogelijkheden om de blootstelling ten gevolge van consumptie van drinkwater te berekenen, op basis van de concentratie in grondwater, door variatie in:

- consumptie van drinkwatervolume per dag (2 liter per dag voor volwassenen<sup>11</sup>; of 2 liter per dag voor volwassenen/ 1 liter per dag voor kinderen<sup>12</sup>);
- lichaamsgewicht (60 kg mens<sup>11</sup>; of 70 kg volwassenen en 15 kg kind<sup>12</sup>);
- beschermingsniveau ( $MTR_{\text{humaan}}$  of  $VR_{\text{humaan}}$ );
- het wel of niet beschouwen van achtergrondblootstelling (bijvoorbeeld 80% voor alle stoffen<sup>11</sup>; of gespecificeerd per stof).

---

<sup>10</sup> Uit van der Aa et al. (2018). Het gebruik van de TTC-aanpak wordt in detail uitgelegd in de volgende RIVM-rapporten: de Poorter et al. (2015) en van der Aa et al. (2018).

<sup>11</sup> WHO (2011). Guidelines for Drinking-water Quality. Fourth edition

<sup>12</sup> Swartjes, F.A., P. van Breemen, M. Rutgers, P.F. Otte, T. Schouten, M. Wit, A.E. Boekhold, A. Wintersen, E. Brand, A. Negash (in bewerking). De Risicotoolbox grondwater. Een beslissingsondersteunend systeem voor de beoordeling van de grondwaterkwaliteit. RIVM-rapport, RIVM, Bilthoven

De risicoscore kan gebruikt worden als toxiciteitsscore in de formule voor de indicator in Vgl. 1. Echter dient ook deze dan eerst te worden omgezet in een schaal van 0 tot 1.

**Optie 2: Er is een Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau ( $MTR_{\text{humaan}}$ ) voor blootstelling**

Als er voor de stof een Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau ( $MTR_{\text{humaan}}$ ) aanwezig is, dan kan er voor de stof een risicoscore berekend worden, volgens:

$$Risicoscore = \frac{\text{blootstelling}}{MTR} \quad [\text{Vgl. 5}]$$

Waarbij blootstelling net als bij Optie 1C op basis van een aantal opties kan worden berekend.

$MTR_{\text{humaan}}$  is het Maximaal Toelaatbare Risiconiveau in  $\mu\text{g}$  per kg lichaamsgewicht per dag voor de mens. Voor niet-genotoxisch carcinogene stoffen komt het overeen met de "Tolerable Daily Intake (TDI)". Voor carcinogene stoffen is het gebaseerd op een extra kans op een tumorincidentie van 1 op 10.000 bij levenslange blootstelling (CRoral).

Ook bij deze risicoscore geldt: deze moet eerst getransformeerd worden tot een 0 tot 1 schaal voordat deze gebruikt kan worden als toxiciteitsscore in Vgl. 1.

**Optie 3: Er is een risicogrenswaarde voor specifieke beschermdoelen**

Als er voor een stof risicogrenswaarden aanwezig zijn voor specifieke beschermdoelen in de Risicoolbox (RTB) grondwater, kan een Risicoscore berekend worden volgens:

$$Score_{\text{beschermdoel } i} = \frac{\text{concentratie grondwater}}{\text{risicogrenswaarde}_{\text{beschermdoel } i}} \quad [\text{Vgl. 6}]$$

$$Risicoscore = 1 - \prod (1 - \text{weight} * score_{\text{beschermdoel } i}) \quad [\text{Vgl. 7}]^{13}$$

Waarbij er verschillende gewichten aan de verschillende beschermdoelen toegekend kunnen worden. In de RTB-grondwater is voor circa 180 stoffen een risicogrenswaarde afgeleid, voor zeven beschermdoelen. Daarmee is een eerste aanzet beschikbaar om ook voor andere beschermdoelen dan de mens de vergrijzingsindicator uit te werken en toe te passen. Tevens biedt de RTB-grondwater

---

<sup>13</sup> Deze risicoscore kan gebruikt worden als toxiciteitsscore in Vgl. 1. Echter dient ook deze dan eerst te worden omgezet in een schaal van 0 tot 1.

wel de mogelijkheid risicogrenswaarden voor andere stoffen te berekenen of af te leiden.

#### Advies projectteam met betrekking tot de toxiciteitsscore

Voor wat betreft het berekenen van de toxiciteitsscore heeft het projectteam 'Indicator vergrijzing' een voorkeur voor het verder uitwerken van optie 1C (voor stoffen waarvoor geen risicogegevens voorhanden zijn) en optie 2 (voor stoffen met een voorhanden  $MTR_{\text{humaan}}$ ), omdat:

- Optie 1A concentratie-onafhankelijk is en hazard-gebaseerd in plaats van risico-gebaseerd;
- Het bepalen van de toxiciteitscore volgens Optie 2 door koppeling aan een  $MTR_{\text{humaan}}$  altijd een meerwaarde heeft;
- Optie 2 vergelijkbaar is met de aanpak van optie 1C wanneer een  $MTR_{\text{humaan}}$  beschikbaar is voor de betreffende stof. Daarmee is het verdedigbaar om opties 1C en 2 met elkaar te combineren bij het berekenen van een indicator;
- Het bepalen van de toxiciteitscore volgens Optie 3 alleen mogelijk is indien risicogrenswaarden voorhanden zijn, eventueel voor verschillende beschermdoelen. Deze zijn weliswaar beschikbaar voor een aantal veel voorkomende historische verontreinigingen, maar niet voor toegelaten bestrijdingsmiddelen, meststoffen en voor praktisch alle opkomende stoffen.

#### 4. CONCLUSIE

Het projectteam concludeert het volgende om tot een indicator vergrijzing te komen:

- Het uitwerken van de gekozen aanpak wordt gezien als een groeimodel, waarbij begonnen wordt met een indicator die per grondwatermonster één score geeft voor de ernst van vergrijzing en de potentiële risico's van de milieuvreemde en milieueigen stoffen die daarin zijn gemeten voor het 'beschermdoel de mens' en blootstelling via drinkwaterconsumptie. De gekozen aanpak is een vooralsnog complexe uitwerking van de indicator. Wanneer deze uitwerking perspectiefrijk is, zouden andere blootstellingsroutes voor 'beschermdoel de mens' en andere beschermdoelen beschouwd kunnen worden voor een vollediger beeld. Aandachtspunt daarbij is wel dat de indicator zo nog complexer wordt.
- De hier beschreven semi-kwantitatieve benadering maakt veranderingen in tijd inzichtelijk voor alle monitoringsfilters waar in het verloop van de tijd vanaf enkele decennia geleden meerdere keren monsters zijn genomen. Er kan dan immers gekeken worden naar het verloop van de indicator in de tijd.

Bovendien kunnen ook vergelijkingen tussen de indicator op verschillende locaties en dieptes worden gemaakt;

- De hier beschreven indicator telt de score van meerdere stoffen op. Daarmee is het een geschikt instrument om heel verschillende stoffen en cocktails van stoffen te kunnen beoordelen op de mate van ernst.

## 5. AANBEVELINGEN

Om op zo kort mogelijke termijn te kunnen beoordelen of de beschreven aanzet om tot een indicator vergrijzing te komen voldoende bruikbaar is om (1) de voortgang (kwaliteitsverbetering of -verslechtering) van grondwater beter zichtbaar te maken, en (2) de knelpunten voor verschillende doelgroepen in beeld te brengen, wordt geadviseerd om:

- De aanpak verder uit te werken, voor wat betreft het schalen tussen 0 en 1 van de DT50 voor de Persistentiescore in Vgl. 1, de toxiciteitscore in grondwater (mede gericht op optie 1C) en de risicoscore in Vgl. 5.
- De indicator ter verificatie toe te passen op een tijdreeks van grondwatermonsters om een 'expert judgement' te vergelijken met de uitkomst van de aanpak. Te denken valt aan monsters van nationale, provinciale en gemeentelijke meetnetten, met pesticiden en meststoffen verontreinigde agrarische percelen, eenvoudige en complexe industriële bodemverontreinigingen, stedelijke locaties beïnvloed door riooloverstorten met medicijnresten, etc. Een aandachtspunt hierbij is dat de indicator afhangt van het aantal stoffen dat gemeten is. De indicator pakt anders uit voor een grondwatermonster waar het laboratorium een beperkt (smal) analysepakket heeft toegepast dan voor grondwatermonsters die aan een breed analysepakket zijn onderworpen.
- Het concept 'verspreidingspotentie' hetzij toe te voegen, hetzij beter inzichtelijk te maken als onderdeel van de indicator. Voorgesteld wordt om een soort chromatografie-som te maken in die zin dat de mobiliteit van een stof als functie van DT50 en  $\log K_{oc}$  wordt doorgerekend voor een stroomsnelheid van het grondwater van 1 m/d en een berekeningsduur van 100 jaar. Ook zal daarbij een organisch stofgehalte voor het doorstroomde sediment moeten worden aangenomen. Dat geeft voor de DT50 en  $\log K_{oc}$  combinaties inzicht in de spreidingspotentie van een betreffende stof. Deze spreidingspotentie zou dan in plaats van de P opgenomen kunnen worden in de formule voor de vergrijzingsindicator.

- Andere beschermdoelen, die kunnen worden bedreigd door chemische stoffen in grondwater, toe te voegen aan de indicator. Dit is echter momenteel maar voor een beperkt aantal stoffen mogelijk, omdat er maar voor een beperkt aantal stoffen risicogrenswaarden aanwezig zijn. De RTB-grondwater biedt wel de mogelijkheid risicogrenswaarden voor andere stoffen te berekenen of af te leiden.
- Het verkennen van de haalbaarheid en informatiewaarde van de zuiveringsopgave-index als indicator voor vergrijzing in relatie tot de drinkwaterfunctie. Deze index is ontwikkeld om de chemische waterkwaliteit van oppervlaktewater voor drinkwaterproductie te beoordelen en is gedefinieerd als:

$$WQI = \sum_1^n 100 * (1 - C_{max,i} / C_{dwb,i}) \text{ als } C_{max,i} > C_{dwb,i}$$

waarin:

$C_{max,i}$  is de maximaal waargenomen concentratie binnen een tijdsvenster en

$C_{dwb,i}$  is de norm uit het drinkwaterbesluit.

Door weging van deze index op basis van stofparameters voor retardatie ( $K_{ow}$ ) en biodegradatie constante, kan een doorvertaling naar de zuiveringsopgave worden gemaakt<sup>14</sup>.

Deze index is succesvol toegepast op een waterkwaliteitsdatabase voor de Rijn<sup>15</sup>. Voor toepassing op kwaliteitsdatabases voor grondwater of onttrokken grondwater is het noodzakelijk om ook anorganische parameters mee te wegen. Voor een ruimtelijke analyse is het noodzakelijk om meetpunten in te delen op basis van herkomst, reistijd en fysisch-chemische eigenschappen van het doorstroomde pakket. Verwacht wordt dat met deze aanpak zowel de stofgroepen als de bijbehorende functies die de grondwaterkwaliteit bepalen herleid kunnen worden.

---

<sup>14</sup> Pronk, T.E., Hofman-Caris, R.C.H.M., Vries, D., Kools, S.A.E., Laak, T.L. ter, en Stroomberg, G.J., 2021. A water quality index for the removal requirements and purification treatment effort of micropollutants. Water supply 21.1, 128-145.

<sup>15</sup> Stroomberg GJ, Neefjes REM, Bannink AD, de Jonge JA, Zwamborn CC, Zeegers I, et al., editors. Jaarrapport 2018 De Rijn: RIWA-Rijn, Vereniging van Rivierwaterbedrijven 2019, hfdst 3, p.87-105 (2019)