

## Drie natuurlijke barrières beschermen het grondwater

*Wilko Verweij, Hilde Passier (Deltares), Jaap Bloem, Peter Schipper (Wageningen University & Research), Joris Dijkstra, Mariëlle van Vliet (TNO), Arnaut van Loon (KWR), Frank Swartjes (RIVM)*

**De grondwaterkwaliteit staat onder druk door klimaatverandering en maatschappelijke en technologische ontwikkelingen. In de bodem en ondergrond beschermen drie van nature aanwezige ‘barrières’ het grondwater tegen verontreinigingen. Afsluitende lagen zorgen voor een fysieke barrière; reactieve bestanddelen in de ondergrond vormen door afbraak, omzettingen en binding een geochemische barrière; en afbraak door micro-organismen in de bovengrond fungeert als een biologische barrière. In het project Kennisimpuls grondwaterkwaliteit is de beschermende werking van deze barrières in beeld gebracht en zijn risico’s voor aantasting van de barrières geanalyseerd.**

In diverse watervoerende pakketten en onder enkele grote natuurgebieden is het grondwater nog zo schoon, dat eenvoudige zuivering (beluchting en een zandfilter) volstaat voor de productie van drinkwater, frisdrank en bier. De grondwaterkwaliteit is ook bepalend voor de kwaliteit van oppervlaktewateren (o.a. sprengen en beken) en grondwaterafhankelijke natuur (bijvoorbeeld laagvenen en beekdalen). Grondwater wordt ook gebruikt in de landbouw (vooral beregening) en levensmiddelenindustrie (bv. conserven).

De kwaliteit van grondwater staat echter onder druk door voortdurende emissies van verontreinigende stoffen en het toenemende gebruik van de ondergrond. In het grondwater worden dan ook tot steeds grotere diepte milieuvreemde stoffen en verhoogde concentraties van nitraat, zouten en zware metalen gevonden [1]. Enerzijds komt dit door uitbreiding van de monitoring en ontwikkeling van nieuwe laboratoriumtechnieken, anderzijds is duidelijk dat het front van licht verontreinigd grondwater zich met de tijd steeds verder over het grondwatersysteem verspreidt. Dit wordt aangeduid als vergrijzing [2].

Gezien het grote belang van schoon grondwater, rijst de vraag of toekomstige generaties ook nog kunnen beschikken over grondwater van voldoende kwaliteit. Voor het kennisprogramma Kennisimpuls Waterkwaliteit [3] heeft het project Kennisimpuls grondwaterkwaliteit geprobeerd die vraag te beantwoorden. Daarbij is gebruik gemaakt van het concept van ‘barrières’: van nature aanwezige mechanismen die verspreiding van stoffen (ten gevolge van activiteiten aan het maaiveld) vertragen of stoppen. Er zijn drie barrières onderscheiden:

1. een fysieke barrière in de vorm van slecht doorlatende lagen, waardoor verontreinigingen zich minder of minder snel naar onderliggende watervoerende pakketten verspreiden;
2. een geochemische barrière, bestaande uit reactieve bestanddelen in de ondergrond, waardoor verontreinigingen worden afgebroken, omgezet of gebonden;
3. een biologische barrière, doordat micro-organismen in de bovengrond stoffen afbreken (‘zelfreinigend vermogen’).

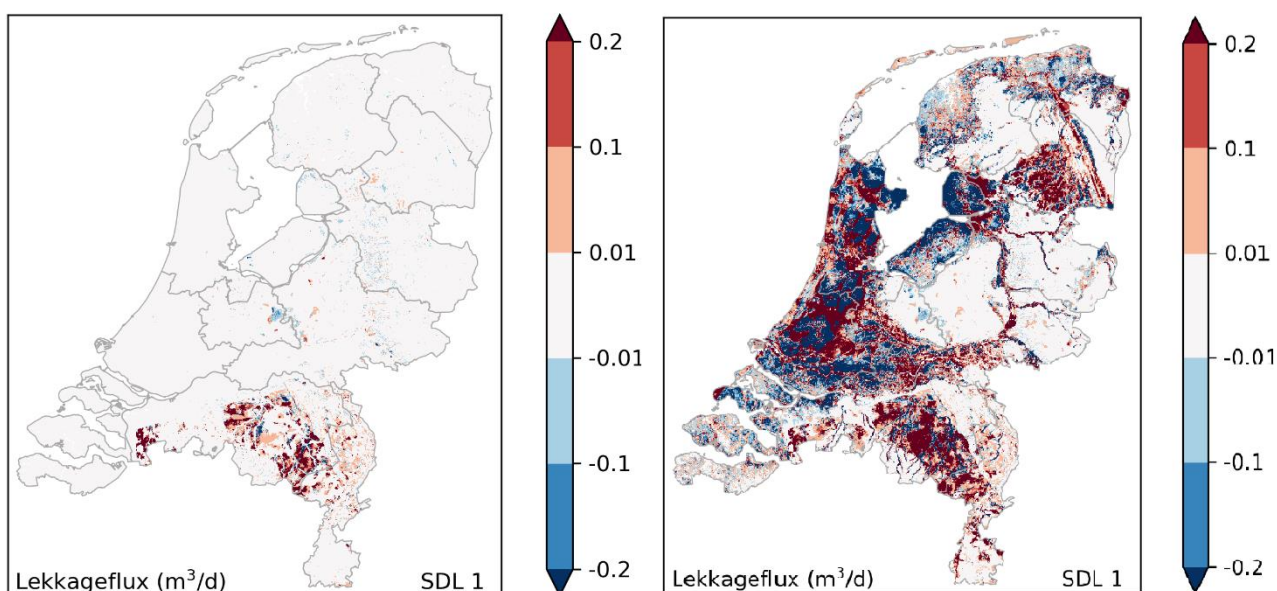
De belangrijkste vraag is of deze barrières altijd in stand blijven of minder goed gaan werken in de loop van de tijd. Dat laatste zou bijvoorbeeld kunnen gebeuren als scheidende kleilagen gaan lekken op plaatsen waar boringen niet goed worden afgewerkt, als de voorraad pyriet afneemt door voortdurende belasting met nitraathoudend (landbouw-)water, of als de activiteit van het bodemleven

(bacteriën, schimmels) in de bovengrond afneemt door toxische stoffen die op de bodem terecht komen. Het behoud van de barrières is daarom niet vanzelfsprekend. Inzicht in de werking van de barrières is nodig om effectieve beschermende maatregelen te kunnen nemen. In het navolgende worden resultaten van het onderzoek naar de drie barrières behandeld.

### Fysieke barrière

In de ondergrond zijn slecht waterdoorlatende lagen aanwezig. Deze vormen een fysieke barrière voor het grondwater in onderliggende watervoerende pakketten, waardoor verontreinigingen zich minder of minder snel naar de dieper liggende watervoerende pakketten verspreiden. Wanneer deze slecht doorlatende lagen worden doorboord, bijvoorbeeld door aanleg van bodemenergiesystemen of geothermie, de boorgaten onvoldoende afgedicht worden, én er een verticaal potentiaalverschil heerst of kan ontstaan, staat deze bescherming onder druk.

Afbeelding 1 is een landsdekkende kwetsbaarheidskaart voor kortsluitstroming via de bovenste slecht doorlatende laag als gevolg van onvoldoende afgedichte doorboringen. Met zulke kwetsbaarheidskaarten voor alle scheidende lagen is in beeld gebracht waar (in potentie) veel kortsluitstroming kan optreden bij het doorboren van deze kleilagen [4]. Voor de kaart is berekend hoeveel water er bij de huidige stijghoogteverdeling (periode 2011-2018) door een niet goed afgesloten boorgat kan stromen (bij ingrijpende veranderingen in hydrologie kan een update van de kaart nodig zijn). Hiertoe is per slecht doorlatende laag een potentiële lekkageflux berekend bij een boorgat dat is opgevuld met materiaal met een hydraulische doorlaatbaarheids-waarde (k-waarde) van 1 m/d (slecht afgedicht) en met een extreem hoge k-waarde van 1000 m/d (vrijwel niet afgedicht); zie afbeelding 1 en [4].



Afbeelding 1. Landelijke ‘Totale kwetsbaarheidskaart’ voor de bovenste slecht doorlatende laag, waarbij de potentiële lekkageflux ( $m^3/d$ ) is weergegeven bij een boorgat dat slecht is afgedicht ( $k$ -waarde = 1 m/d; links) en bij een boorgat dat vrijwel niet is afgedicht ( $k$ -waarde = 1000 m/d; rechts). Een positieve lekkageflux staat voor een flux van het bovenliggende watervoerende pakket naar het onderliggende watervoerende pakket

Met een resolutie van 250x250 m is de kwetsbaarheidskaart geschikt om risicovolle gebieden te identificeren, waarbij een goede afdichting van de boorgaten van extra groot belang is. Voor grotere aantallen doorboringen (energieneutrale woonwijken) kan deze kwetsbaarheidskaart worden gebruikt om de maximale dieptes voor aanleg te markeren. Voor de lokale schaal is de landelijke kwetsbaarheidskaart niet geschikt.

### **Casestudie**

De kwetsbaarheidskaart is toegepast in een casestudie Woerden [5] waar zich historische verontreinigingen bevinden in het beïnvloedingsgebied van een drinkwaterwinning. Uit de studie blijkt dat de kwetsbaarheidskaart voor doorboringen goed toepasbaar is om een indruk te krijgen van de locaties waar, uit het perspectief van de grondwaterkwaliteit, de aanleg van bodemenergiesystemen mogelijk is. Bij een slechte afdichting van het boorgat of slechte afdichting van de (PE-)buizen van een warmte- of koudebron is de invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen op de grondwaterkwaliteit gering. Bij een extreem slechte afdichting zijn echter forse lekkagefluxen mogelijk. Aanvullend zijn hypothetische worstcasescenario's doorgerekend om in de meest extreme (ongunstige) situatie inzicht te krijgen in het effect van de aanleg van bodemenergiesystemen op de verspreiding van aanwezige verontreinigingen. Hieruit blijkt dat onzorgvuldige aanleg van open bodemenergiesystemen in combinatie met aanwezige verontreinigingen, een relevante invloed kan hebben op het oplossen van stoffen vanuit VOCl-zaklagen en de verspreiding in horizontale en verticale richting. De casestudie laat zien dat lokale omstandigheden bepalen of een locatie kwetsbaar is voor veranderingen in de grondwaterkwaliteit bij aanleg van open bodemenergiesystemen.

### **Geochemische barrière**

In de ondergrond wordt de verspreiding van veel verontreinigingen tevens beperkt door redox-afhankelijke afbraak, sorptie, neerslag of ionuitwisseling in watervoerende lagen. Deze chemische barrière is gebaseerd op de aanwezigheid en reactiviteit van specifieke bestanddelen in het sediment, zoals organisch materiaal of pyriet. Deze bestanddelen worden hierbij echter verbruikt, en bij sommige bufferreacties komen ongewenste stoffen vrij. De ruimtelijke verdeling van de capaciteit van het geochemische buffervermogen, gerelateerd aan de aanwezigheid van pyriet, is voor Nederland in beeld gebracht. Daarnaast zijn voor de winning Grubbenvorst (Noord-Limburg) sedimentmonsters onderzocht om de reactiviteit van het sediment gedetailleerd in beeld te brengen [6].

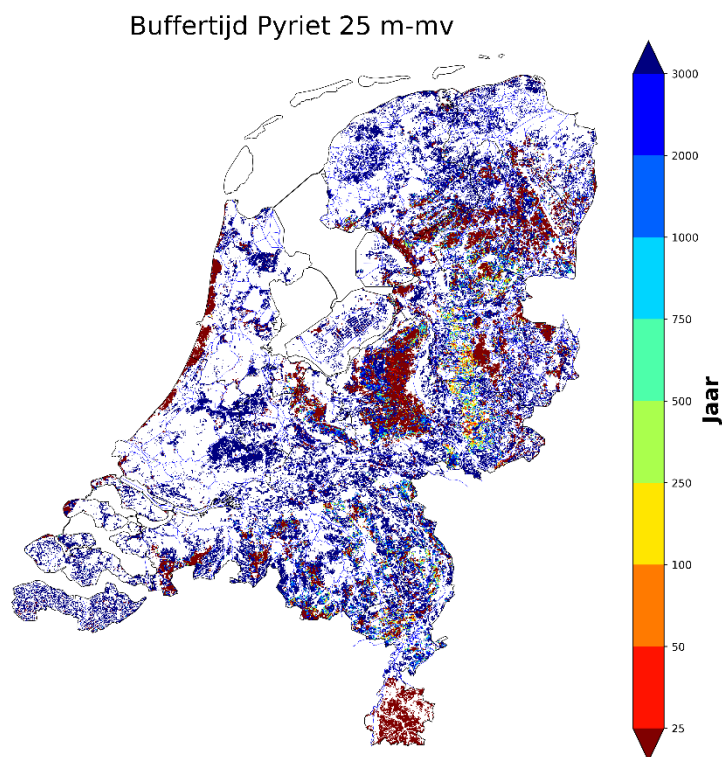
### ***Kwetsbaarheidskaart geochemische barrière***

Voor de kwetsbaarheidskaart van de geochemische barrière is de buffercapaciteit voor nitraat berekend als de resterende buffertijd op basis van de aanwezige voorraad pyriet en huidige nitraatbelasting van het grondwater [7]. Hiertoe is eerst de aanwezige voorraad pyriet berekend. Vervolgens is op basis van reactievergelijkingen berekend hoe lang het duurt voordat al het pyriet is verbruikt, uitgaande van het stromingsveld volgens het Landelijk Hydrologisch Model en de nitraatconcentratie in de grondwateraanvulling. Ten slotte zijn de buffertijden gesommeerd over de modellagen en zijn uitsnedes voor verschillende diepteniveaus gemaakt. Omdat deze kaarten alleen betrekking hebben op pyriet, zijn ze indicatief voor een worstcasesituatie; de extra bijdrage van organische stof aan omzetting van nitraat is buiten beschouwing gelaten.

## Resultaten

In afbeelding 2 staat de geochemische kwetsbaarheidskaart 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 is afhankelijk van de voorraden reactiemateriaal, fluxen en de nitraatbelasting van het grondwater. Op grotere diepte is het grondwater uiteraard beter beschermd, maar ook daar bestaan gebieden waar het pyriet binnen enkele tientallen jaren verbruikt kan zijn.

Sedimentair organisch materiaal biedt in potentie veel langere buffertijden (honderden jaren) dan pyriet. De belangrijkste oorzaak is dat er in de ondergrond veel meer organische stof aanwezig is dan pyriet. Van sedimentair organische stof is echter bekend dat slechts een deel reactief is. Omdat de daadwerkelijke reactiviteit niet goed bekend is, kan het buffervermogen niet eenduidig worden vastgesteld.



*Afbeelding 2. 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*

## Biologische barrière

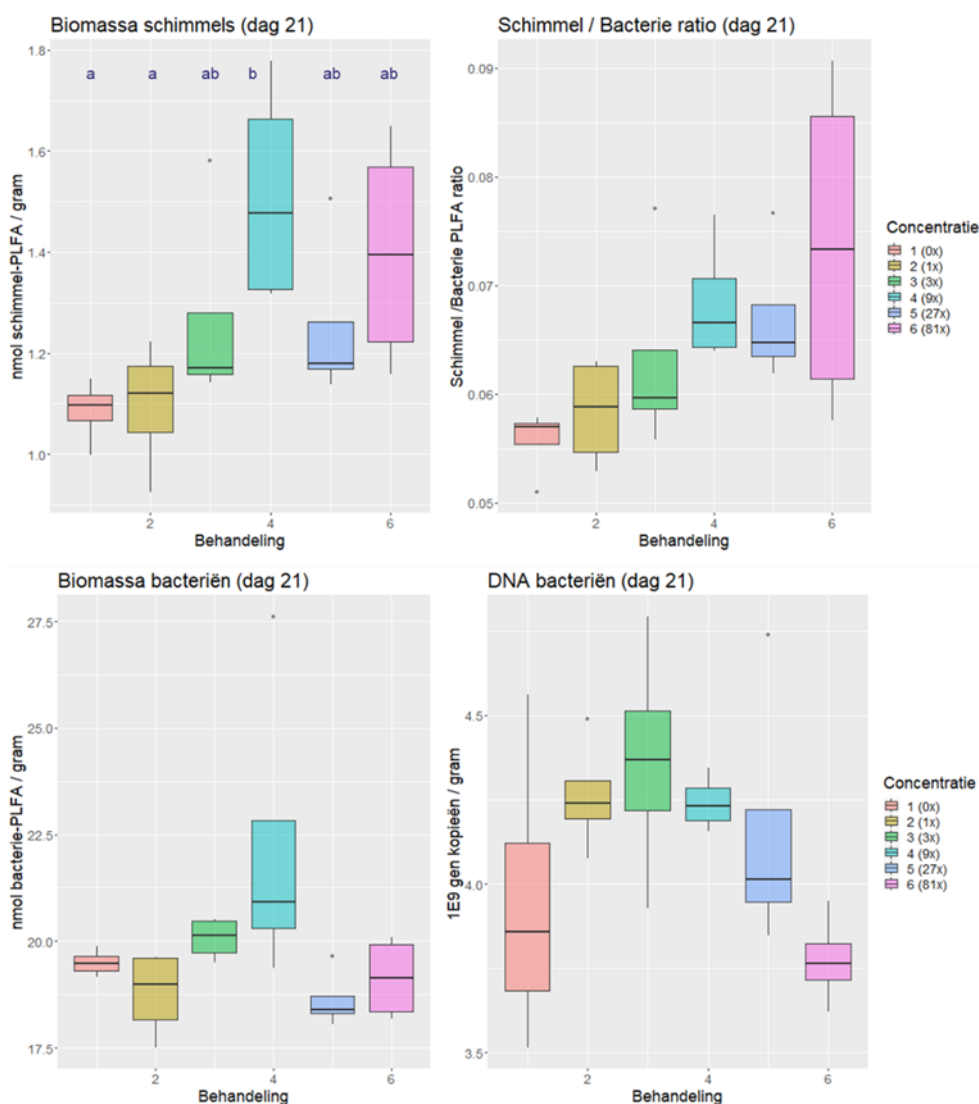
Een groot deel van de verontreinigingen die in de bovengrond belandt, wordt door bacteriën en schimmels afgebroken of omgezet. Micro-organismen zijn cruciaal voor het zelfreinigend vermogen en tegelijkertijd gevoelig voor stress ten gevolge van die verontreinigingen. Als de stress van die verontreinigingen te hoog wordt, kunnen de micro-organismen vertragen of stoppen met de afbraak van de verontreinigingen. Deze kunnen zich dan sneller verspreiden.

Omdat de aantasting van micro-organismen door bodemverontreinigende stoffen het grootst is op intensief gebruikte, lichte grond, is een proef uitgevoerd met zandgrond (0-25 cm diepte) van een

gangbaar akkerbouwsysteem (Vredepeel, Limburg). Hieraan werd een mengsel van de vijf in West-Europese landbouwbodems meest voorkomende verontreinigingen toegevoegd: het herbicide glyfosaat, de fungiciden boscalid, tebuconazool en epoxiconazool, en het insecticide imidacloprid. Bovendien werd oxytetracycline (antibioticum, diergeneesmiddel) toegevoegd. Op basis van gepubliceerde mediane concentraties van deze stoffen in landbouwbodems, werd een reeks samengesteld met toenemende concentraties van 0, 1, 3, 9, 27 en 81 maal de mediaan van alle stoffen in het mengsel dat werd toegediend aan de grond.

Tot negen maal de mediane concentraties werden geen negatieve effecten van het mengsel op de biologische activiteit gevonden (zie afbeelding 3). De microbiële groei werd gestimuleerd door de toegevoegde pesticiden. Dat lijkt op het eerste gezicht tegenstrijdig, maar het weerspiegelt afbraak en zelfreinigend vermogen. Bij hogere concentraties namen de schimmels niet meer toe en was de toename van bacteriën geremd. De maximale waargenomen concentraties van de meest voorkomende verontreinigingen in West-Europese landbouwbodems waren drie maal de mediaan voor het insecticide, acht tot tien maal voor de fungiciden en vijftien maal de mediaan voor het herbicide glyfosaat. De maximale concentraties blijken dus niet ver onder de gevarenzone te liggen waar remming van microbiële activiteit (c.q. het zelfreinigend-vermogen) kan optreden [8].

Voor zover bekend is dit de eerste praktijkproef naar effecten van een realistisch mengsel van de meest voorkomende pesticiden op de micro-organismen in de bodem. Inzicht in de biologische barrière is momenteel minder ver ontwikkeld dan in de fysieke en geochemische barrière. Ook is 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 kunnen optreden. Hierbij zijn cascade-effecten door het hele bodemvoedselweb en op ecosysteemdiensten te verwachten.



Afbeelding 3. 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 ( $P=0,089$ )

### Handelingsperspectieven

Uit het voorgaande blijkt dat aantasting van de barrières een reëel risico is en dat de barrières geenvolledige bescherming tegen verontreiniging bieden. Om de grondwaterkwaliteit te verbeteren en toekomstige bedreigingen van de grondwaterkwaliteit vóór te zijn, zijn maatregelen nodig. In het onderzoek naar de risico's van vergrijzing [2] 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;
- toepassing (bodemennergiesystemen, geothermie, actieve infiltratie);
- type barrière (fysiek, geochemisch, bodembologisch).

Uit het onderzoek naar de drie genoemde barrières en vergrijzing door opkomende stoffen, komen de volgende handelingsperspectieven naar voren:

- Verbeterde praktijk en handhaving van doorboringen en ondergrondse activiteiten, zoals warmte-koudeopslag (WKO) en geothermie [9], [10].
- Actueel houden van vergunningen voor lozingen, opslag en gebruik van stoffen.
- Actievere invulling van het ruimtelijk beleid door nabij kwetsbare functies gewenste ontwikkelingen te stimuleren of zelfs te initiëren, of ongewenste ontwikkelingen te reguleren of te verbieden.
- Ketenaanpak met sturing op basis van de stoffen of stofgroepen die het meest bijdragen aan vergrijzing.
- Harmoniseren van beoordelingscriteria verschillende beleidsvelden, inclusief de stap maken van normopvulling naar nul-emissie.
- Het beschermen en stimuleren van biologische (zuiverende) processen in de boven- en ondergrond en voor verontreinigd drainage- en oppervlaktewater.
- Bescherming van receptoren kan door uitbreiding van zuiveringsinstallaties van grondwaterwinningen (drinkwater), maar dit staat op gespannen voet met de Kaderrichtlijn Water (KRW).
- Het aanbrengen van natuurlijke zuiverende systemen voor verontreinigd drainage- en oppervlaktewater voordat het infiltreert naar het diepere grondwater. Dit laatste kan ook gezien worden als ingrijpen in het pad. Kleinschalige maatregelen zouden opgeschaald kunnen worden tot zuiverende stedelijke groenvoorzieningen en natuurgebieden. Het water kan na zuivering weer worden geïnfiltreerd.

### Conclusies

Activiteit van micro-organismen in de bodem, reactieve bestanddelen in watervoerende pakketten en scheidende lagen vormen drie afzonderlijke barrières voor de verspreiding van verontreinigingen in de ondergrond. De achterliggende mechanismen zijn voor elke barrière wezenlijk verschillend van aard, waardoor hun effectiviteit en gevoeligheid niet in vergelijkbare grootheden is uit te drukken. Desondanks geeft de beschikbare kennis over de barrières aan dat hun beschermende werking varieert in de ruimte en in de diepte; de barrières bieden geen volledige bescherming.

De kennis over de fysieke barrière en de chemische barrière is nu bij elkaar gebracht in twee kaarten. Deze kaarten geven een indicatie waar, gelet op deze barrières, de grondwaterkwaliteit het meest kwetsbaar is voor verontreinigingen. In deze gebieden zijn naast de bescherming van barrières ook brongerichte maatregelen het hardst nodig. De geochemische barrière is geanalyseerd vanuit de werking van pyriet; reactief organische stof in de ondergrond zou hieraan toegevoegd moeten worden. Voor de biologische barrière is de kennis onvoldoende ontwikkeld om indicatieve kaarten te maken. Aanbevolen wordt in milieubeleid, ruimtelijke ordening en waterbeheer te streven naar behoud van de hier genoemde barrières. Bij het beoordelen van activiteiten in bodem en ondergrond kan het communicatief aantrekkelijke concept van de barrières die het grondwater beschermen tegen verspreiding van verontreiniging goed worden gebruikt. Naast een effectieve bronaanpak is bescherming van de barrières van strategisch belang om de kwaliteit van het grondwater ook op de lange termijn te waarborgen, temeer omdat de barrières geen volledige bescherming bieden.

Dit onderzoek is een resultaat van het project 'De toekomst van het grondwater', dat deel uitmaakt van de Kennisimpuls Waterkwaliteit (KIWK). Voor meer info, zie: <https://www.stowa.nl/onderwerpen/waterkwaliteit/realiseren-van-ecologische-waterkwaliteitsdoelen-krw/goed-grondwater-nu#2904>

### Referenties

1. Negash, A., Swartjes, F. (2021). *Status van vergrijzing in Nederland. Technisch KIWK-achtergrondrapport*. KIWK-rapport 2021-58.
2. Verweij, W. et al. (2022). *Vergrijzing van grondwater: handelingsperspectieven voor de voortschrijdende aantasting van grondwaterkwaliteit door menselijke invloeden*. KIWK-rapport 2022-23.
3. Stichting Toegepast Waterbeheer (2022). <https://www.stowa.nl/kennisimpuls>
4. Vliet, M.E. van, Huizer, S., Marsman, A., Schans, M. van der, & Zaadnoordijk, W.J. (2022). *Kwetsbaarheidskaart doorboringen. Kennisimpuls water*. KIWK-rapport 2022-28.
5. Vliet, M.E. van, Swartjes, F., Marsman, A., & Rood, P. (2022). *Onderzoek naar de invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen op vergrijzing van grondwater - Case study Woerden. Kennisimpuls Water*. KIWK-rapport 2022-21.
6. Grift, B. van der, Post, V., Vliet, M.E. van, Dijkstra, J.J., & Janssen, G. (2022). *Geochemisch buffervermogen van de ondergrond: een verkenning van de variatie in redoxreactiviteit en mogelijke effecten op de ruwwaterkwaliteit voor pompstation Grubbenvorst*. KIWK-rapport 2022-26.
7. Grift, B. van der, Hocking, A., Vliet, M.E. van, Dijkstra, J.J., & Janssen, G. (2022). *Geochemisch buffervermogen van de ondergrond: beschikbare data, 3D modellen en trendanalyse*. KIWK-rapport 2022-27.
8. Bloem, J. et al. (2022). *Waterkwaliteit Grondwater - Bodembioologische bescherming*. 36 pp. Kennisimpuls Waterkwaliteit.
9. Cirkel, G., Dijkstra, J.J., Vliet, M.E. van (2021). *Deltafact Mogelijke lange-termijn effecten van grootschalige geothermie op grondwaterkwaliteit*. STOWA.
10. Schout, G., Bloemendal, M. (2021). *Deltafact Effecten van bodemenergiesystemen op de grondwaterkwaliteit*. STOWA.