



Effecten van kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater op de grondwaterkwaliteit

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS
3. STRATEGIE
4. SCHEMATISCHE WEERGAVE
5. WERKING
6. KOSTEN EN BATEN
7. RANDVOORWAADEN
8. GOVERNANCE
9. PRAKTIJKERVERVARING EN LOPENDE INITIATIEVEN
10. KENNISLEEMTES
11. BRONNEN & LINKS
12. COLOFON

1. INLEIDING

Klimaatverandering en bevolkingsgroei zorgen beide voor een toenemende druk op onze zoetwaterbronnen. De wens naar beschikbaarheid van voldoende schoon water wordt daardoor steeds groter, vooral in de steeds vaker voorkomende drogere periodes. Grondwater is een zeer belangrijke en schone zoetwaterbron die we kunnen benutten om aan de groeiende vraag te voldoen. De winning van grondwater kan echter leiden tot verlagingen van de plaatselijke grondwaterstand, waardoor bijvoorbeeld landbouw en natuur schade kunnen ondervinden (droogteschade, verdroging, verzuring, wegvallen kwelstromen et cetera).

Tegelijkertijd is ons land er van oudsher op ingericht om de neerslag zo snel en efficiënt mogelijk af te voeren. Hierdoor wordt grondwateraanvulling beperkt en zakken grondwaterstanden tijdens het groeiseizoen sneller weg. Vooral op de hoger gelegen zandgebieden, waar geen aanvoer van zoetwater via het oppervlaktewater mogelijk is, kan dit bijdragen aan ongewenste extra droogteschade aan gewassen, bebouwing en natuur.

Een gangbare maatregel om droogte tegen te gaan is de aanvoer van oppervlaktewater uit het hoofwatersysteem (de grote rivieren en IJsselmeer), voor zover dat (kostenefficiënt) mogelijk is. In sommige gebieden, vooral nabij grondwateronttrekkingen, wordt hierdoor – vaak onbewust - het grondwater aangevuld met infiltrerend oppervlaktewater. Daarnaast bestaat toenemende belangstelling voor het actief aanvullen van het grondwater met oppervlaktewater of andere bronnen, zoals rwzi-effluent, industrieel restwater of hemelwater.

Hoewel droogte-mitigerende maatregelen primair worden getroffen omwille van het verhogen van de regionale waterbeschikbaarheid, kunnen ze onbedoeld hun weerslag hebben op de grondwaterkwaliteit. Denk bijvoorbeeld aan veranderingen in de ionen- en nutriëntensamenstelling van het grondwater bij infiltratie van gebiedsvreemd water. Of het risico op verontreiniging van het grondwater met in oppervlaktewater voorkomende organische microverontreinigingen, zoals medicijnresten of andere antropogene stoffen. Dit soort neveneffecten van infiltratie met oppervlaktewater kan aldus betekenen dat klimaatadaptatie voor een deel wordt afgewenteld op grondwaterafhankelijke functies die kritisch zijn ten aanzien van (veranderingen in) de grondwaterkwantiteit en -kwaliteit.

In het geval van actieve infiltratie van oppervlaktewater is dit dilemma al goed bekend en is het governance-model al ver ontwikkeld. Dit komt onder andere doordat de drinkwaterbedrijven langs de westkust al sinds de jaren 1950 voorgezuiverd rivierwater infiltreren om de zoete grondwaterreserves voldoende op peil te houden. Daarna zijn elders in Nederland kleinere infiltratiesystemen ingericht, onder andere op de Veluwe en in Zeeland. Bij deze bestaande toepassingen wordt het geïnfiltreerde water voor een deel teruggewonnen.

Doel en afbakening

Deze Deltafact geeft een overzicht van de huidige stand van kennis ten aanzien van bewuste kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater en effecten op specifiek de *(grond)waterkwaliteit*, op basis van (praktijk)ervaringen in de duinen, op stuwwallen, beekdallandschappen en in kreekrugafzettingen. Ook wordt een overzicht gegeven van het wettelijk en beleidsmatig kader waarbinnen kunstmatige infiltratie valt.

Het *onbewust* infiltreren van oppervlaktewater als gevolg van wateraanvoer valt buiten de reikwijdte van deze Deltafact. Ook oeverinfiltratiesystemen, zoals toegepast door een aantal drinkwaterbedrijven, vallen buiten de scope omdat deze fungeren als zuiveringsstap en niet primair zijn ingericht voor een actieve grondwateraanvulling.

2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS

Trefwoorden: Waterkwaliteit, Grondwater, Energieopslag

Deze Deltafact is er één van een vijftal gemaakt in het Kennisimpuls-project Grondwater. De andere vier zijn:

- Deltafact 'Mogelijke lange-termijn effecten van grootschalige diepe en ultradiepe geothermie op grondwaterkwaliteit'
- Deltafact 'Mogelijke lange-termijn effecten van opkomende stoffen op grondwaterkwaliteit'
- Deltafact 'Effecten open en gesloten bodemenergiesystemen op grondwaterkwaliteit'
- Deltafact 'Vergrijzing van grondwater'

Overige gerelateerde Deltafacts:

- [Deltafact 'Ondergrondse waterberging'](#);
- [Deltafact 'Ondergronds bergen en terugwinnen van water in stedelijk gebied'](#)

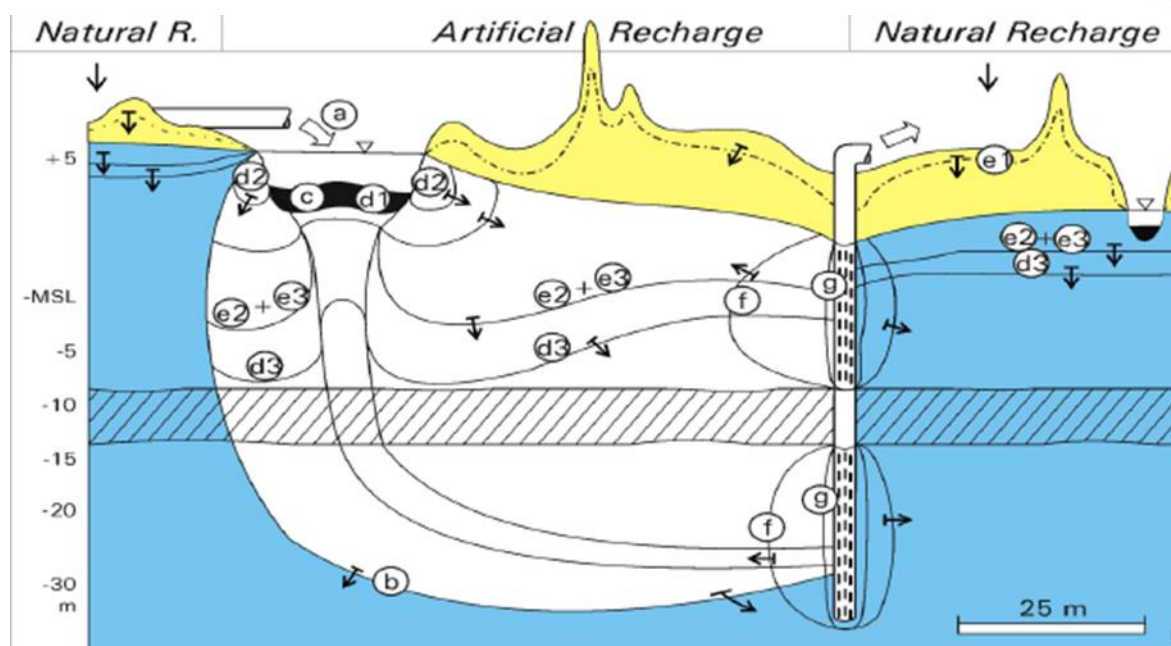
3. STRATEGIE

Kunstmatige infiltratie wordt toegepast om het grondwater actief aan te vullen. De bekendste voorbeelden in Nederland zijn de duininfiltraties die sinds de jaren 1950 worden toegepast ten behoeve van de drinkwatervoorziening (zie onder andere [Peters et al., 1992](#); [Stuyfzand en Luers, 2000](#)). Het grondwater in de duinen wordt actief aangevuld met voorgezuiverd rivierwater (Maas, Lek en/of IJsselmeer) om te compenseren voor de onttrekking; zo blijft de zoetwaterbel in de duinen op peil. Bijkomend voordeel voor de drinkwatervoorziening is dat de bodempassage zorgt voor microbiologisch betrouwbaar water. Andere voorbeelden in Nederland zijn kunstmatige infiltraties op de Veluwe (drinkwaterwinningen in Epe en Schalterberg; [van Engelenburg, 2017](#)) en in de Achterhoek (winning 'Olden-Eibergen'; [Cirkel, 2017](#); [De Jonge en Cirkel, 2017](#)), waar oppervlaktewater wordt geïnfiltriseerd ter compensatie van de grondwaterwinningen, met als doel het op peil houden van de grondwaterstanden. Tenslotte wordt in Zeeland in kreekruggen oppervlaktewater geïnfiltriseerd om de zoetwaterlenzen te vergroten zodat deze duurzaam aangewend kunnen worden als bron voor irrigatie- of beregeningswater.

Meer en meer wordt kunstmatige infiltratie genoemd als droogte-mitigerende maatregel voor met name de zandgronden. Ook hier is aanvullen van het grondwater het primaire doel, maar anders dan in de bovengenoemde voorbeelden is dit niet (noodzakelijk) gekoppeld aan een gebruik (drinkwater, beregeningswater) of gebruiker.

4. SCHEMATISCHE WEERGAVE

Onderstaande figuur geeft een schematische weergave van infiltratiesystemen in de duinen (naar [Stuyfzand, 2002](#)). In de duinen wordt gewerkt met infiltratiepanden die gevoed worden met voorgezuiverd oppervlaktewater dat vandaaruit infiltreert. Als alternatief voor open infiltratiepanden wordt in Zeeland gebruik gemaakt drains (kreekruginfiltratiesysteem; ([Oude Essink et al., 2018](#)) of horizontale putten (Freshmaker; [Zuurbier et al., 2018](#)) als infiltratiemiddelen. Tijdens infiltratie verandert het geïnfiltriseerde water van samenstelling, door de hydrogeochemische reacties die optreden tussen infiltrerend water en de bodem. Welke reacties optreden en wat de uiteindelijke samenstelling wordt van het geïnfiltriseerde water is afhankelijk van de kwaliteit van het oppervlaktewater zelf (bijvoorbeeld nutriëntconcentraties, ionensamenstelling, zuurgraad) en de (mineraal)samenstelling van de ondergrond (bijvoorbeeld aanwezigheid kalk, pyriet, organische stof).



Figuur 1. Voorbeeld van optredende hydrogeochemische veranderingen bij kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater in de duinen (Stuyfzand, 2002).

5. WERKING

Deze Deltafact focust op de effecten van kunstmatige infiltratie op specifiek de (grond)waterkwaliteit. Naast de directe kwaliteitseisen die gesteld worden aan het infiltratiewater (Kaderrichtlijn Water en Infiltratiebesluit bodembescherming; zie [Hoofdstuk 8. Governance](#)) is het van belang te weten welke kwaliteitsveranderingen het infiltratiewater ondergaat tijdens transport door de bodem en welke effecten dat kan hebben elders in het landschap. Een goed begrip van het functioneren van het hydrogeochemische systeem is hiervoor van belang. In deze sectie wordt daartoe voor drie kenmerkende Nederlandse grondwatersystemen het functioneren van het hydrogeochemische systeem beschreven:

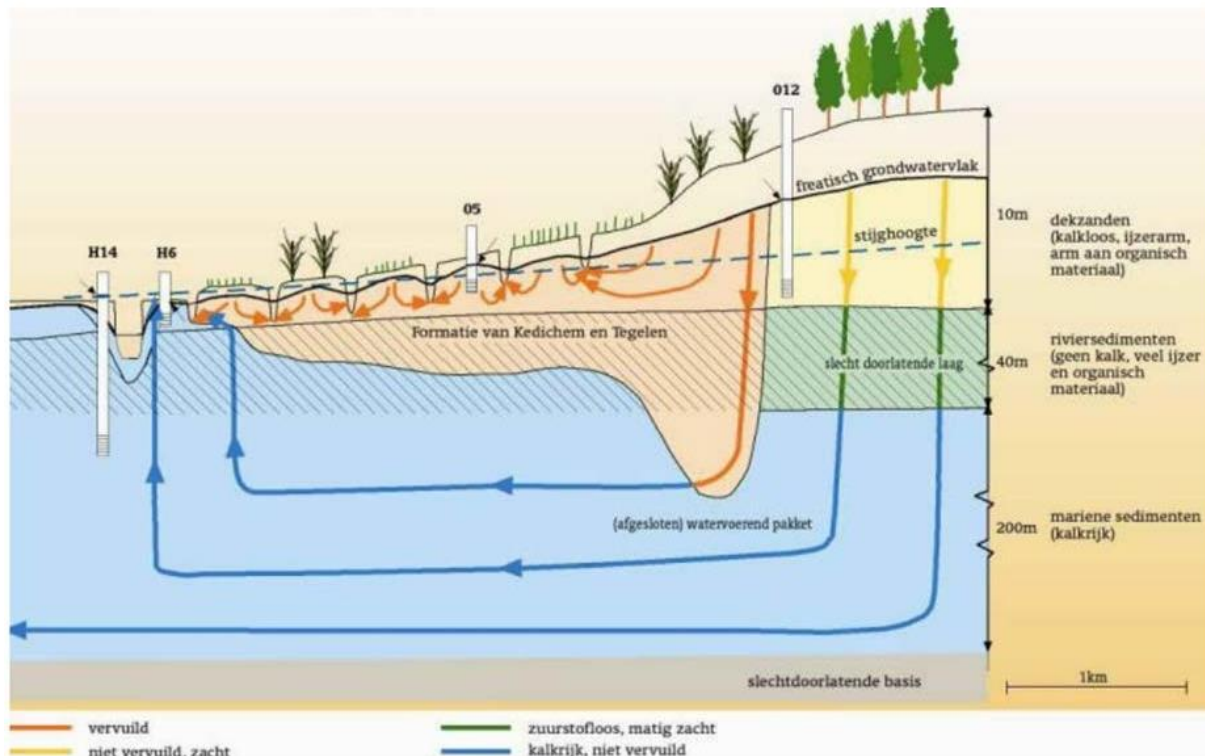
1. Regionale grondwatersysteem van een natuurlijk beekdallandschap
2. Regionale grondwatersysteem van een stuwwal onder menselijke invloed
3. Waterkwaliteit en geochemie bij (langjarige) duininfiltratie

Aansluitend wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste hydrogeochemische reacties in Nederlandse grondwatersystemen. Aangezien in de huidige vormen van kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater biologische bescherming (afbraak van ongewenste stoffen door bodemleven) een beperkte rol speelt, wordt hier verder niet ingegaan in deze Deltafact.

Regionale grondwatersysteem van een natuurlijk beekdallandschap

Het Merkske-beekdal in Noord-Brabant, op de grens van Nederland en Vlaanderen, is een karakteristiek voorbeeld van een natuurlijk beekdallandschap op de zandgronden (zie ook www.staatsbosbeheer.nl/natuurgebieden/het-merkske). Onderstaande schematische dwarsdoorsnede (Van der Velde en De Louw 2006) geeft het regionale grondwatersysteem weer voor dit beekdal. Het hoger gelegen infiltratiegebied en het laaggelegen beekdal zijn duidelijk herkenbaar. Indien de grondwaterstand in het freatische pakket hoger staat dan de stijghoogte in het diepe watervoerende pakket vindt er stroming plaats van het ondiepe freatische grondwater naar het diepe watervoerende pakket. Deze gebieden worden infiltratiegebieden genoemd. Als het infiltratiegebied uit natuur bestaat is het freatisch grondwater relatief schoon maar wel zuur. Op een zekere diepte zal het zuurstof worden geconsumeerd door oxidatie van pyriet of organisch materiaal en zal het zuur worden geneutraliseerd worden door kalk. Als gevolg van deze processen is er een verandering in waterkwaliteit naar zuurstofloos en licht basisch.

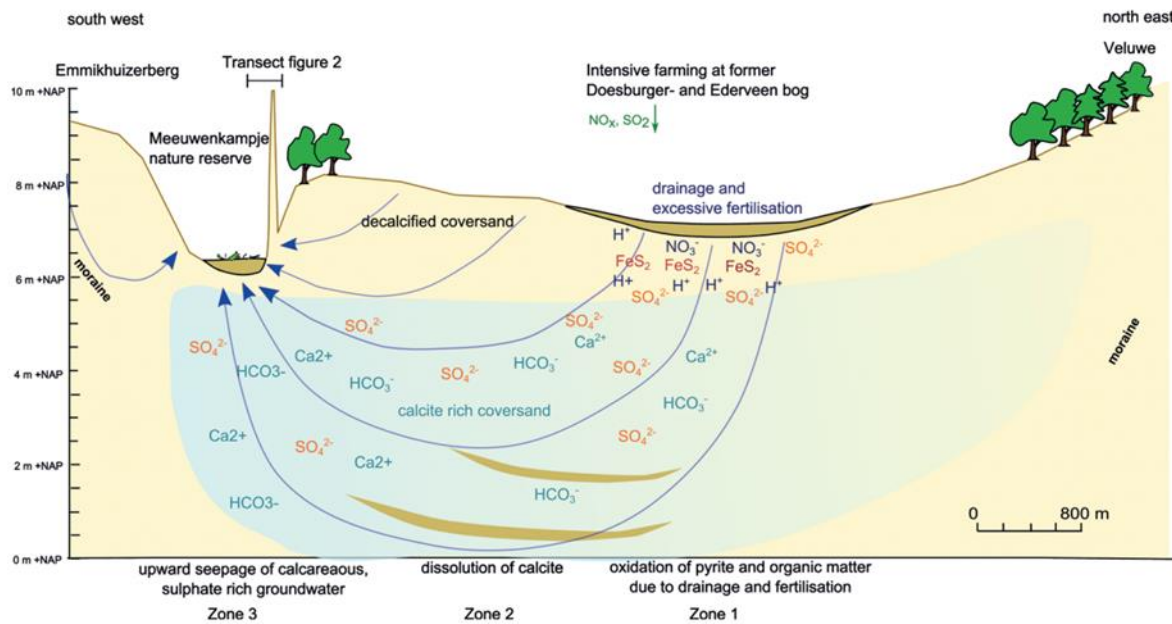
In de laaggelegen gebieden, zoals het beekdal, is de stijghoogte hoger dan de freatische grondwaterstand en/of het maaiveld, waardoor in deze gebieden het zuurstofloze en licht basische grondwater vanuit de diepere ondergrond opwelt. De stijghoogte in het diepe watervoerende pakket bepaalt samen met de weerstand van de scheidende laag, de hoeveelheid kwelwater in het gebied. Tussen de infiltratie- en kwelgebieden ligt een gebied dat ook wel wordt aangeduid als het intermediair gebied. Dit gebied is sterk ontwaterd en er vindt nauwelijks uitwisseling plaats tussen het diepe en ondiepe systeem. Het regenwater dat in dit gebied valt, wordt meestal direct door de dichtstbijzijnde sloot afgevoerd. Het intermediaire gebied fungeert dus nauwelijks als intrekgebied, terwijl er soms enige lokale grondwaterstroming plaatsvindt en van kwelinvloed dus eveneens vrijwel geen sprake is ([Hendriks en Van Ek, 2009](#)).



Figuur 2. Voorbeeld van een regionaal grondwatersysteem van een beekdallandschap (Van der Velde en De Louw 2006)

Regionale grondwatersysteem van een stuwwal onder menselijke invloed

Het merendeel van de grondwatersystemen in Nederland staat onder sterke invloed van de mens, met verdroging en vermessing als belangrijke invloeden op de zandgronden. De hydrogeochemische processen op stuwwallen worden gedomineerd door uitspoeling van verzurende en oxiderende stoffen vanaf maaiveld naar het bovenste grondwater. De belangrijkste reactieve stoffen voor dit type grondwatersystemen zijn zuurstof en nitraat. Met de infiltratie van het neerslagoverschot zal het nieuwgevormde grondwater zuurstof bevatten. Vanuit bemeste percelen spoelt nitraat uit naar het grondwater. Vooral zandgronden met diepe grondwaterstanden en een laag organisch stofgehalte zijn kwetsbaar voor nitraatuitspoeling. Tijdens de bemestingspiek in de jaren 1980 en begin jaren 1990 waren dit hoge concentraties, tot enkele honderden mg/L. Het mestbeleid heeft duidelijk zijn werk gedaan en van extreem hoge nitraatconcentraties in het uitspoelwater is momenteel dan ook geen sprake meer. Toch kunnen in het zandgebied nog steeds te hoge concentraties uitspoelen.



Figuur 3. Voorbeeld van optredende hydrogeochemische reacties onderaan een stuwwal, als gevolg van verdroging en/of vermessing (naar [Cirkel et al., 2014](#)).

Bovenstaande dwarsdoorsnede illustreert hoe een verhoogde nitraatinput onderaan een stuwwal doorwerkt in de kwaliteit van het kwelwater in het lager gelegen kwelgebied (naar [Cirkel et al., 2014](#)). In de ondergrond wordt nitraat afgebroken door een reactie met organisch materiaal of pyriet. Pyrietoxidatie leidt tot een toename van de sulfaatconcentratie. Bij deze reactie wordt ook zuur gevormd en kan de ijzerconcentratie van het grondwater toenemen. Het gevormde zuur wordt vervolgens gebufferd door het oplossen van kalk (CaCO_3) dat in de ondergrond aanwezig is. Dit resulteert in een toename van de calciumconcentratie (Ca^{2+}) en de alkaliniteit (HCO_3^-) van het grondwater. Een verhoogde input van nitraat (NO_3^-) op de hoger gelegen delen van een gebied resulteert aldus in verhoogde concentraties sulfaat (SO_4^{2-}), alkaliniteit (HCO_3^-) en calcium (Ca^{2+}) en mogelijk ijzer (Fe^{2+}) in het kwelwater.

Waterkwaliteit en geochemie bij (langjarige) duininfiltratie

Al sinds de jaren 1950 wordt er in de duinen langs de Noordzeekust op grote schaal oppervlaktewater geïnfiltreerd ten behoeve van de drinkwaterwinning, doorgaans vanuit infiltratiepanden. Als gevolg van de infiltratie van het oppervlaktewater vindt er een groot scala aan hydrologische en hydrogeochemische processen plaats (Tabel 1). Het oppervlaktewater is van nature zuurstofhoudend en kan daarnaast relevante hoeveelheden nitraat en opgelost organisch koolstof bevatten. Als gevolg van de input van deze stoffen zullen er hydrogeochemische processen in de ondergrond optreden. De belangrijkste zijn oxidatie van organische materiaal en pyriet, oplossen

van carbonaten, kationuitwisseling en het reductief (zuurstofloos) oplossen van ijzer- en mangaanhydroxides.

De infiltratie-intensiteiten en de resulterende stroomsnelheden door de ondergrond kunnen met een factor 1000 worden versneld in vergelijking met natuurlijke grondwatersystemen ([Stuyfzand et al., 2007](#); [Stuyfzand, 2011](#)). Na een lange tijd van kunstmatige infiltratie kunnen reactieve bodembestanddelen, zoals carbonaten die aquifers beschermen tegen verzuring, en pyriet en organische stof, die aquifers beschermen middels oxidatie, uitloggen. Het uitloggen van organisch materiaal en de afname van de pH als gevolg van carbonaat uitloging kunnen leiden tot een significante vermindering van de sorptiecapaciteit van de watervoerende laag voor zware metalen en organische microverontreinigingen ([Stuyfzand, 2011](#)). In veel gevallen neemt ook de ijzerconcentratie toe tijdens kunstmatige infiltratie. Dit kan het gevolg zijn van pyrietoxidatie of het oplossen van ijzerhydroxides door input van opgelost organische materiaal.

Tabel 1. Processen die de hydrogeochemische duurzaamheid van infiltratiesystemen kunnen beïnvloeden ([Stuyfzand, 2002](#)), met nummering conform bovenstaande figuur.

Proces
A. Verhoging van infiltratie-intensiteit en dus van de waterflux en de lading
B. Infiltratiewater verplaatst / vervangt oorspronkelijk: <ol style="list-style-type: none"> 1. Oppervlaktewater 2. grondwater
C. Accumulatie van meer bodemslib (van een andere samenstelling)
D. Accumulatie van meer bodemslib (van een andere samenstelling) <ol style="list-style-type: none"> 1. In bodemslib 2. Aan de rand van het infiltratiebekken 3. In de ontvangende aquifer
E. Uitloging van natuurlijke reactieve componenten: <ol style="list-style-type: none"> 1. Ontkalking (uitloging van de zuurbuffer CaCO_3) 2. Oxidatie (uitloging van redoxbuffers: organisch materiaal en pyriet) 3. Afname van de sorptiecapaciteit (uitloging van sorptiesubstraat: organisch materiaal en fijne deeltjes)
F. Verplaatsing van fijne deeltjes uit het watervoerend pakket
G. Accumulatie van verstoppingsmateriaal bij eventuele onttrekking (fijne deeltjes en ijzer(hydr)oxides)

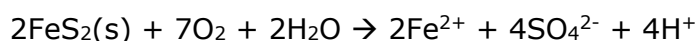
Overzicht van de belangrijke hydrogeochemische reacties in Nederlandse grondwatersystemen

Bovenstaande drie voorbeelden geven aan hoe de samenstelling van infiltrerend water tijdens bodempassage kan veranderen als gevolg van interacties met de ondergrond ('hydrogeochemische reacties') en welke gevolgen dat heeft voor opwellend water elders in het landschap (zandgronden) of voor het teruggewonnen water bij duininfiltraties. Welke reacties al dan niet optreden is afhankelijk van de kwaliteit van het infiltrerende water (regenwater, bodemwater, oppervlaktewater), redoxcondities en mineraalsamenstelling van de bodem. De belangrijkste hydrogeochemische reacties in Nederlandse grondwatersystemen (kunnen) optreden zijn hieronder op een rij gezet.

Oxidatie van pyriet onder invloed van O₂ en NO₃⁻

Ijzersulfides zijn een belangrijke buffer in de ondergrond doordat deze oxideren, waardoor andere stoffen minder snel oxideren. Pyriet (FeS₂) is de meest voorkomende ijzersulfide in de Nederlandse ondergrond. Oxidatoren zoals zuurstof (O₂) en nitraat (NO₃⁻) worden door pyriet afgebroken en bij deze reactie komen sulfaat (SO₄²⁻), ijzer (Fe²⁺) en soms ook sporenelementen zoals arseen (As) vrij als deze in het kristalrooster van het pyriet zijn ingebouwd. Oxidatie van pyriet door zuurstof leidt direct tot productie van zuur (H⁺), terwijl de oxidatie door nitraat zuur consumeert. De uiteindelijke zuurproductie is afhankelijk van het lot van het vrijgekomen Fe²⁺. Bij verdere oxidatie van het geproduceerde Fe²⁺ en hydrolyse tot Fe-hydroxide komt er bij oxidatie van pyriet met nitraat een significante hoeveelheid zuur vrij.

Pyrietoxidatie met zuurstof:



Pyrietoxidatie met nitraat:



Oxidatie van organisch materiaal onder invloed van O₂ en NO₃⁻

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de reacties van organisch materiaal onder toenemende reducerende omstandigheden. Het organisch materiaal is hier als CH₂O weergegeven. Dit is de meest eenvoudige chemische weergave. De afbraak van organisch materiaal is gekoppeld aan reductie van aanwezige oxidatoren, zoals zuurstof (O₂), nitraat (NO₃⁻), sulfaat (SO₄²⁻) en ijzer- en mangaan(hydr)oxides (FeOOH en MnO₂).

Onderstaand worden de verschillende optredende reacties weergegeven, in volgorde zoals die ook in de ondergrond plaatsvindt. Zuurstof wordt als eerste geconsumeerd, vervolgens nitraat, et cetera. Het reactieproduct is altijd anorganisch koolstof (opgelost CO₂ en/of bicarbonaat, in onderstaande reactievergelijkingen aangeduid als H₂CO₃) en de gereduceerde oxidator: N_{2(g)}, Mn²⁺, Fe²⁺, HS⁻ (of S²⁻) en CH_{4(g)}. Het vrijkomen van anorganisch koolstof kan leiden tot een hoge CO₂ spanning maar dit heeft in principe geen negatieve gevolgen voor de waterkwaliteit. Wel kan het invloed hebben op oplos/neerslagreacties van carbonaten. De gereduceerde oxidatoren hebben een verschillend effect op de grondwatersamenstelling. Productie van N_{2(g)} is in principe neutraal. Productie van Mn²⁺, Fe²⁺, HS⁻ en CH_{4(g)} is in principe niet echt wenselijk. Daarnaast bevat organisch materiaal in de bodem stikstof (N), zwavel (S) en fosfor (P). Deze lossen bij afbraak van organisch materiaal op en kunnen daardoor bijdragen aan de verslechtering van de waterkwaliteit.

Volgorde van redoxreacties bij mineralisatie van organisch materiaal onder neutrale pH condities:

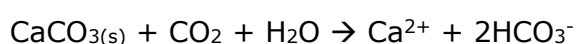
Aerobe respiratie	$\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$
Denitrificatie	$5\text{CH}_2\text{O} + 4\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ \rightarrow 2\text{N}_{2(g)} + 5\text{H}_2\text{CO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
Mn(IV) reductie	$\text{CH}_2\text{O} + 2\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ \rightarrow 2\text{Mn}^{2+} + \text{H}_2\text{CO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
Fe(III) reductie	$\text{CH}_2\text{O} + 4\text{FeOOH}_{(s)} + 8\text{H}^+ \rightarrow 4\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{CO}_3 + 6\text{H}_2\text{O}$
Sulfaatreductie	$2\text{CH}_2\text{O} + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HS}^- + 2\text{H}_2\text{CO}_3$
Methanogenese	$2\text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_{4(g)} + \text{H}_2\text{CO}_3$

Oplossen van kalk onder invloed van een sterk zuur (H⁺) of CO₂

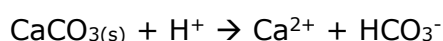
Kalk (CaCO₃) is een buffer tegen verzuring. Als kalk reageert met een zuur gaan calcium (Ca²⁺) en bicarbonaat (HCO₃⁻) in oplossing. Er zijn verschillende bronnen van zuur in de ondergrond aan te wijzen: (1) het zwakke koolzuurgas (CO_{2(g)}), (2)

directe bronnen van een sterk zuur (H^+), en (3) verzuring als gevolg van andere hydrogeochemische bufferreacties. Ademhaling (respiratie) door bodemwortels is een belangrijke bron van CO_2 in de bodem. Directe bronnen van sterk zuur zijn atmosferische depositie van stikstof (NO_x , NH_x) en zwavel (SO_x) en het gebruik van meststoffen (kunstmest en drijfmest), zoals in de eerdere voorbeelden al aangegeven. Bij zuurinput als gevolg van geochemische bufferreactie gaat het bijvoorbeeld om de hierboven beschreven oxidatie van pyriet (Fe_2S) door zuurstof (O_2) of nitraat (NO_3^-). Hierbij ontstaat zuur wat gebufferd wordt door Ca-carbonaat.

$CO_{2(g)}$ is in een zwak zuur dat kalk op kan lossen volgens de volgende reactie:



Oplossen van kalk door een sterk zuur kan als volgt worden weergegeven:



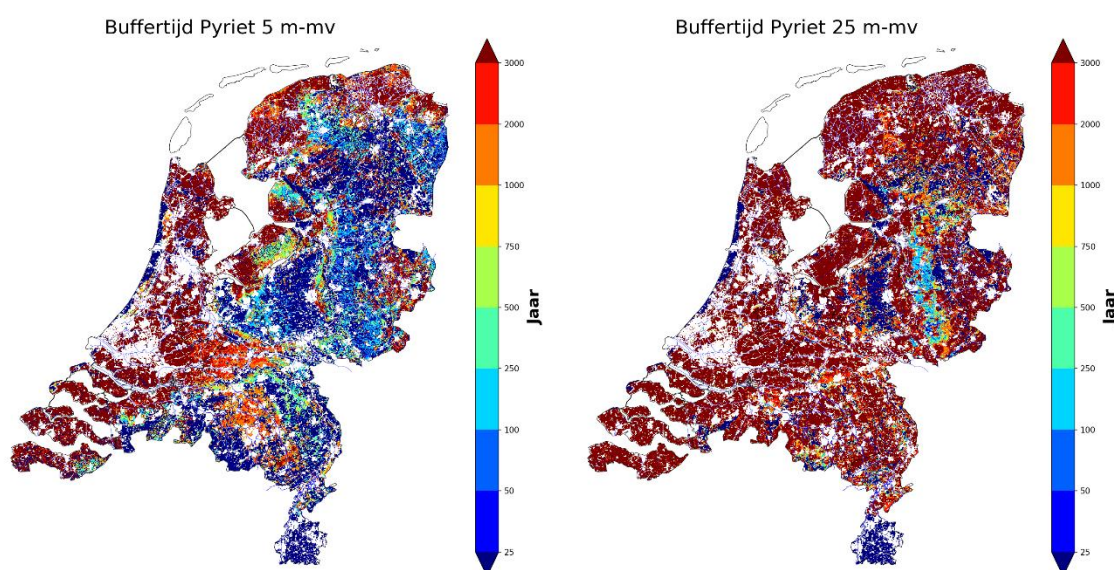
Verspreiding van antropogene organisch microverontreinigingen

Het lot van antropogene organisch microverontreinigingen die eenmaal in de ondergrond zijn ingebracht wordt bepaald door adsorptie en afbraakprocessen. Bij adsorptie gaan deze antropogene stoffen een min om meer reversibele interactie aan met van nature aanwezige bodembestanddelen. Voor organische microverontreinigingen is vooral het organisch stof gehalte van de bodem van belang. Afbraak van organische microverontreinigingen is vooral afhankelijk van de redoxcondities in de ondergrond. Hierbij geldt dat er een onderscheid gemaakt kan worden in stoffen die vooral onder oxische of suboxische redoxcondities worden afgebroken zoals olie gerelateerde verontreinigingen zoals BTEX (benzeen, toluen, ethylbenzeen en xyleen) en stoffen die juist onder anoxische condities worden afgebroken zoals gechloreerde koolwaterstoffen. De mate waarin organische microverontreinigingen verspreiden hangt af van hydrologische condities zoals stromingsrichting en reistijd en milieucondities zoals organisch stofgehalte en redox.

Reactiviteit van de Nederlandse ondergrond

Recentelijk is de mogelijkheid verkend om op basis van een 3D-pyrietmodel kaartbeelden af te leiden van resterende buffertijden ten aanzien van nitraatdoorbraak (Van der Grift et al., 2022). Deze "geochemische risicokaart" laat 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 (Figuur 4). Tegelijkertijd zijn er ook

gebieden waar zelfs op grotere diepten (> 25 m) het beperkt aanwezige pyriet binnen afzienbare tijd (orde grootte tientallen jaren) verbruikt kan zijn.



Figuur 4. Berekende resterende tijd voor opraken van pyriet bij ruimtelijk en temporeel constante nitraatvrucht van 50 mg/L (Van der Grift et al., 2022)

6. KOSTEN EN BATEN

De huidige toepassingen van kunstmatige infiltratie in Nederland zijn gekoppeld aan gebruik van grondwater voor de productie van drinkwater (direct in duinen of indirect als compenserende maatregel) of voor irrigatie- of beregening. Daar liggen ook de baten. De kosten zijn van meerdere factoren afhankelijk, waaronder kosten voor transport, aanleg en onderhoud infiltratiemiddelen (infiltratiepanden, drains, putten), voorzuivering van het infiltratiewater (om verstopping van infiltratiemiddelen te voorkomen, maar ook om aan wettelijke kwaliteitseisen te voldoen) en monitoring en rapportage. Kosten voor drinkwatertoepassingen in de duinen (grootschalige systemen, lange transport afstanden, uitgebreide voor- en nazuivering) zijn in orde grootte Euro 0,80 – 1,00 per kubieke meter (investeringskosten en operationele kosten). Kosten voor zoetwateropslag en –terugwinning in kreekruggen in Zeeland (kleinschalig systeem, relatief eenvoudige voorzuivering) zijn rond de Euro 0,40 – 0,60 per kubieke meter (CAPEX + OPEX) ([Zuurbier et al., 2019](#)).

7. RANDVOORWAADEN

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) vormt de kapstok voor het beoordelen van kunstmatige infiltratiesystemen en hun effecten op de (grond)waterkwaliteit. Een uitgebreide beschrijving van de juridische randvoorwaarden en het juridisch kader wordt gegeven in [Hoofdstuk 8. Governance](#). Samengevat: (1) er zijn wettelijk vastgestelde kwaliteitseisen voor oppervlaktewater dat wordt gebruikt voor kunstmatige infiltratie (KRW en Infiltratiebesluit bodembescherming), en (2) daarbovenop dienen effecten op grondwaterafhankelijke ecosystemen te worden ingeschat. Dit laatste vereist een goed inzicht in met name de verandering van ionen- en nutriëntensamenstelling van het grondwater bij grootschalige infiltratie van oppervlaktewater. Immers, grondwaterafhankelijke ecosystemen stellen doorgaans heel specifieke eisen aan de chemische samenstelling van het (kwel)water (zie de voorbeelden in de [duinen](#) en op de [Veluwe](#)). Een goed begrip van het functioneren van het [hydrogeochemische systeem](#) (Hoofdstuk 5) en de [optredende hydrogeochemische reacties tussen infiltratiewater en ondergrond](#) is hiervoor van belang.

8. GOVERNANCE

Juridisch kader voor beoordeling infiltratiesystemen

De Europese [Kaderrichtlijn Water](#) is maatgevend voor het beheer van ons grondwater en vormt ook de kapstok voor het beoordelen van kunstmatige infiltratiesystemen en hun effecten op de (grond)waterkwaliteit. Samengevat moet voor grondwaterlichamen aan de volgende doelstellingen worden voldaan ([De Putter et al., 2018](#)):

1. Zij moeten in een goede chemische toestand worden gehouden of gebracht.
2. De inbreng van gevaarlijke en verontreinigende stoffen moet worden voorkomen en beperkt ('prevent & limit')
3. Voor water bestemd voor menselijke consumptie geldt dat de zuiveringsinspanning die voor de productie is vereist niet mag toenemen en op termijn zelfs moet verbeteren.
4. Elke significante en aanhoudende stijgende tendens van de concentratie van een verontreinigende stof, ten gevolge van menselijke activiteiten, moet worden omgebogen, om de grondwaterverontreiniging geleidelijk te verminderen.

5. Kwantitatief moet er, met het oog op de beschikbare grondwatervoorraad, evenwicht bestaan c.q. worden gerealiseerd tussen onttrekkingen en aanvullingen van grondwater.
6. Er mogen geen significante effecten voor grondwaterafhankelijke ecosystemen optreden (zoals terrestrische vegetaties in natuurgebieden).

De tweede ('prevent & limit') en zesde doelstelling ('zorg voor grondwaterafhankelijke ecosystemen') zijn met name relevant in relatie tot kunstmatige infiltratie en grondwaterkwaliteit en worden hieronder nader besproken.

KRW: Prevent and limit

Het 'prevent & limit' principe van de KRW is direct te vertalen naar de minimum kwaliteitseisen waaraan het infiltratiewater moet voldoen. De normen voor een goede chemische toestand van grondwaterlichamen bestaan uit Europese grondwaterkwaliteitsnormen voor nitraat (50 mg/L) en werkzame stoffen van gewasbeschermingsmiddelen en biociden (0,1 µg/l per stof en 0,5 µg/l totaal). Daarnaast zijn in Nederland voor elk van de 23 KRW-grondwaterlichamen drempelwaarden vastgesteld voor chloride, nikkel, arseen, cadmium, lood en totaal-fosfor. Deze normen en drempelwaarden gelden op grondwaterlichaamniveau. Voor de doelstelling van 'prevent and limit' zijn daarnaast in de praktijk aanvullende streef- en interventiewaarden van toepassing voor talloze stoffen op lokaal niveau.

Aanvullend op de kwaliteitseisen vanuit de KRW moet ook worden voldaan aan de regels van het [Infiltratiebesluit bodembescherming](#) (Ib). De in het Ib opgenomen stoffenlijst is veel uitgebreider dan de KRW-stoffenlijst. Formeel geldt het Ib alleen voor systemen die zijn opgezet met het doel van terugwinning (al dan niet gedeeltelijk) van het infiltratiewater, maar het is aannemelijk te veronderstellen dat dezelfde aanvullende eisen zullen worden gesteld voor systemen die worden ontwikkeld louter voor grondwateraanvulling, zonder een directe koppeling met terugwinning.

KRW: geen significante effecten voor grondwaterafhankelijke ecosystemen

De KRW-doelstelling om zorg te dragen voor grondwaterafhankelijke ecosystemen (zoals kwelafhankelijke vegetatie en aquatische ecosystemen die gevoed worden door grondwater) is moeilijk direct door te vertalen naar kwaliteitseisen voor infiltratiewater. Om te kunnen beoordelen of kunstmatige infiltratie (negatieve)

gevolgen kan hebben voor ecosystemen, is inzicht nodig in onder meer de specifieke kwaliteitseisen die het betreffende ecosysteem stelt aan het (opwellend) grondwater. Ook is inzicht nodig in de samenstelling van het infiltratiewater (zoals nutriënten en basensamenstelling), de lokale grondwaterstroming, en welke chemische verandering het infiltratiewater ondergaat tijdens zijn reis door de bodem. De ondergrond is namelijk niet inert en hydrogeochemische reacties zullen de kwaliteit van het infiltratiewater veranderen. Denk daarbij bijvoorbeeld aan het oplossen van kalk of het oplossen van pyriet met als gevolg toename van sulfaatconcentraties. Welke reacties optreden hangt af van de chemische samenstelling van het infiltratiewater én de geochemische samenstelling van de ondergrond.

Juridische beoordeling van infiltratiesystemen

Bij de beoordeling van infiltratiesystemen is het allereerst van belang te onderstrepen dat infiltreren niet verward moet worden met lozen in de bodem. Infiltreren van water is geregeld in de [Waterwet](#) (Wtw) en betreft het brengen van water in de bodem ter aanvulling van het grondwater, in samenhang met de onttrekking van grondwater (art. 1.1 Wtw). De Waterwet vereist dus dat er van aanvulling sprake is én van een (latere) onttrekking van grondwater. Of er ooit daadwerkelijk geïnfiltreerd grondwater onttrokken gaat worden, doet hierbij niet ter zake. Het gaat erom dat bij de aanvraag om een infiltratie-/onttrekkingsvergunning de bedoeling bestaat het water later te gebruiken, bijvoorbeeld als beregenings-/gietwater.

In het (hydrologisch en dagelijks) spraakgebruik wordt de term infiltratie ook gebruikt voor het in de bodem brengen van water (meestal regenwater) zonder dat dit samenhangt met de onttrekking van grondwater. Men wil er in dat geval eenvoudigweg van af ('afvalwater'). In dergelijke gevallen is er juridisch sprake van een lozing, en zijn de regels van het Activiteitenbesluit van toepassing.

Een watervergunning voor het infiltreren van water in samenhang met een latere onttrekking mag slechts worden verleend als er geen gevaar voor verontreiniging van het grondwater bestaat. Dit gevaar wordt beoordeeld op grond van de regels in artikel 12 Wbb dat rechtstreeks verwijst naar het Infiltratiebesluit bodembescherming (Ib). Volgens het infiltratiebesluit is er sprake van verontreinigingsgevaar indien in het te infiltreren oppervlaktewater stoffen voorkomen in hogere concentraties dan in bijlage 1 van het Ib voor die stoffen is aangegeven. Het bevoegd gezag kan bij de vergunningverlening echter voor één of

meer stoffen hogere concentraties toestaan in een door hen aan te geven tijdvak. De stoffenlijst van het Ib is uitgebreider dan de stoffenlijst van de KRW, maar desondanks is een groot aantal (prioritaire) stoffen hierin niet opgenomen. Het betreft hierbij met name organische microverontreinigingen die in wateren voorkomen in relatief lage concentraties ($< \mu\text{g/L}$), zoals resten van medicijnen en cosmetica. Indien met zekerheid verondersteld kan worden dat deze aanwezig zullen zijn (bijvoorbeeld bij infiltratie rwzi-effluent), dan dient minimaal monitoring en indien noodzakelijk aanvullende zuivering plaats te vinden.

Geïsoleerde, kleinschalige systemen

Bij de beoordeling van infiltratiesystemen kan het handig zijn onderscheid te maken tussen geïsoleerde systemen en systemen met invloed op de wijdere omgeving. Bij geïsoleerde infiltratiesystemen is er doorgaans sprake van relatief kleinschalige infiltratie (orde grootte 10.000 tot 100.000 m³ infiltratie per jaar) waarbij de te verwachten effecten in de omgeving zeer beperkt zijn. Dit is bijvoorbeeld het geval bij kreekruginfiltratie en bij ondergrondse waterbergingsystemen voor de tuinbouw en in de stad (deze laatste twee typen systemen maken gebruik van hemelwater en zijn derhalve niet opgenomen in de voorbeelden). Water van lokale herkomst wordt geïnfiltreerd en in principe teruggewonnen, hoewel er in de praktijk sprake zal zijn van menging en eventuele afdrijving.

Voor kleinschalige, geïsoleerde systemen zijn het 'prevent & limit'-principe en het Infiltratiebesluit bodembescherming de belangrijkste voorwaarden waaraan voldaan moet worden. Belangrijk om op te merken is dat het Infiltratiebesluit van oorsprong is gebaseerd op grootschalige infiltraties ten behoeve van de productie van drinkwater. De meetinspanning die in het Ib gevraagd wordt is doorgaans onevenredig groot vanuit het perspectief van kleinschalige toepassingen. In 2015 is daarom een technisch-juridische handreiking opgesteld voor de risico-beoordeling van kleinschalige ondergrondse waterbergingsystemen ([Zuurbier et al., 2015](#)). Deze handreiking biedt praktische handvaten voor vergunningverlening van (kleinschalige) infiltratiesystemen, hoewel in de praktijk het toch vaak nodig blijkt om een relatief omvangrijke 'standaardbeoordeling' toe te passen, met bijbehorende hoge kosten. Vanuit (overheids)partijen wordt daarom momenteel de vraag gesteld of er onder voorwaarden een beperktere beoordeling mogelijk zou zijn.

Systemen met invloeden op de bredere omgeving

Bij grotere infiltratiesystemen, zoals de varianten die vooral gericht zijn op grondwateraanvulling, kunnen er effecten optreden in de bredere omgeving, zoals veranderingen in grondwaterstanden, afvoer van oppervlaktewater en veranderingen in kwantiteit of kwaliteit van kwelwater. Ook hier is het prevent & limit principe van groot belang, maar is ook een breder perspectief noodzakelijk. Naast bescherming van het grondwater zelf is het namelijk belangrijk dat er geen significante ongewenste effecten zijn op grondwaterafhankelijke of aquatische ecosystemen. Om dit te beoordelen is systeemkennis van hydrologie, hydrogeochemie, ecologie en landschap noodzakelijk.

Voor de beoordeling van deze grootschalige systemen bestaat geen omvattend beoordelingskader. Indien er plannen zijn om grootschalige infiltratie op veel locaties toe te passen, bijvoorbeeld in het kader van droogtebestrijding, zou het nuttig kunnen zijn om een dergelijk kader te ontwikkelen.

9. PRAKTIJKERVARING EN LOPENDE INITIATIEVEN

Kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater in de praktijk

In Nederland is ruime praktische ervaring met kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater in verschillende landschapstypen: duinen, hogere zandgronden en op kreekruggen. Uit deze praktijkvoorbeelden is veel te leren over infiltratie in relatie tot grondwaterkwaliteit. Hoe verandert de kwaliteit van het grondwater? Welk effect heeft infiltratie en de samenstelling van het infiltratiewater op grondwaterafhankelijke natuur? En welke parameters zijn specifiek van belang? Welke aanpassingen kunnen gedaan worden om negatieve effecten te mitigeren, bijvoorbeeld door uitbreiding van voorzuivering? Hoe wordt het juridisch kader in de praktijk toegepast? De belangrijkste Nederlandse praktijkvoorbeelden met kunstmatige infiltratie zijn hieronder kort beschreven. Gezamenlijk geven deze een beeld van hoe met bovenstaande vragen nu en in het verleden in de praktijk is omgegaan, en welke openstaande vragen er nog zijn.

Duininfiltratiesystemen

De zoetwaterlenzen in de duinen vormen al vele jaren een goede bron voor drinkwater in het westen van Nederland. Sinds de jaren '50 wordt in deze duinsystemen oppervlaktewater geïnfiltreerd, om de zoetwatervoorraden voor de

drinkwaterproductie op peil te houden. Hierdoor kan er voldoende drinkwater gewonnen worden, maar kan er ook in geval van innamestops (bij tijdelijk ontoereikende oppervlaktewaterkwaliteit) een periode zonder infiltratie worden overbrugd. Daarnaast draagt de bodempassage bij aan verbetering van de waterkwaliteit, doordat ziekteverwekkers en sommige andere verontreinigingen worden verwijderd en de kwaliteit constanter wordt ([Stuyfzand en Luers, 1996](#)). Voorgezuiverd oppervlaktewater, afkomstig uit de grote rivieren, wordt naar de duinen getransporteerd via leidingen, waar het via infiltratiebekkens (en ook diepteinfiltratie) wordt geïnfiltreerd.

De infiltratie van oppervlaktewater heeft gevolgen voor de grondwaterstanden en -kwaliteit in de duingebieden. De kwaliteit van het infiltratiewater was vooral in de jaren 1970 relatief slecht, maar is sindsdien verbeterd door een betere rivierwaterkwaliteit, uitbreiding van de voorzuivering en afschaffing van transportchlorering. [Stuyfzand en Luers \(2000\)](#) hebben uitgebreid onderzoek gedaan naar verschillen tussen duingebieden met en zonder infiltratiesystemen. Hieruit bleek dat infiltratie bijdraagt aan een verhoogde hydrogeochemische impact, die in de jaren 1970 zeer ver boven de streefwaarde lag en in de jaren 1990 sterk verminderd was (hoewel nog steeds verhoogd ten opzichte van gebieden zonder infiltratiesystemen). De kwaliteitsverschillen tussen het infiltratiewater en het natuurlijke grondwater leidden tot ophoping of juist uitloging van stoffen in de bodem. Hierdoor verandert de ondergrond van samenstelling, wat ook in latere perioden nog gevolgen kan hebben.

Open Infiltratie Nieuwe Stijl (OINS): groene en blauwe doelen combineren

De duingebieden bieden niet alleen plaats aan drinkwaterwinning, maar vormen daarnaast een habitat voor verschillende natuurtypen, zoals natte duinvalleien. Deze zones zijn gevoelig voor veranderingen in grondwaterpeil en waterkwaliteit. Kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater leidde inderdaad tot de gewenste vernatting van de duinen, maar door de nutriëntenrijkdom van het ingelaten oppervlaktewater ook tot een hogere voedselrijkdom in de kanalen en plassen, en in de gebieden waar het water opwelt. In de natuur leidde dat tot verruiging. Tevens was dit ongunstig voor de drinkwaterbereiding, want het verkrijgen van schoon drinkwater vergde intensieve nazuivering.

Om natuur en waterwinning optimaal te combineren is in 1992 het concept Open Infiltratie Nieuwe Stijl (OINS) geïntroduceerd ([Peters et al., 1992](#)). Daarmee wordt

gestreefd naar de optimale inpassing van het infiltratiesysteem in combinatie met bij de duinen passende natuurdoelen. Het succes van OINS hangt samen met een optimale inrichting, waarbij het infiltratiesysteem niet alleen maar dient voor de waterwinning, maar de infiltratiepanden en het geïnfiltreerde water ook een ecologische functie vervullen. Maatregelen die daaraan bijdragen zijn:

- Vergaande voorzuivering van het infiltratiewater;
- Natuurlijk ogende infiltratiepanden of plassen met een uitgestrekte oeverzone: deze bieden ruimte aan water- en oevervegetatie;
- Inpassing van infiltratieplassen in het hydrologisch systeem, zodat er op gewenste plekken kwel optreedt;
- Opschonen van geëutrofiëerde valleibodems op sommige plekken in de duinen;
- Ecologisch beheer optimaliseren om potenties te benutten (bijvoorbeeld verwijderen struweel in oeverzone, kort houden vegetatie).

Een van de gebieden waar OINS wordt toegepast zijn de Middel- en Oostduinen op het Zuid-Hollandse eiland Goeree-Overflakkee. In 1996 is waterbedrijf Evides overgestapt van duininfiltratie met ongezuiverd oppervlaktewater naar het gebruik van voorgezuiverd oppervlaktewater en een natuurvriendelijke inrichting van het infiltratiegebied. De natte en droge duinnatuur hebben zich sindsdien spectaculair hersteld met onder meer een grote toename van de aantallen en soortenrijkdom van orchideeën. De ervaringen met OINS zijn onlangs beschreven in 'Het vron ontrafeld: veertig jaar waterwinning en natuurbeheer in de Middel- en Oostduinen op Goeree' (Annema et al., 2020).

Ideeën voor grootschalige kunstmatige infiltratie op de Veluwe

Op de Veluwe spelen verschillende vraagstukken rondom grondwater. In dit hooggelegen gebied vult neerslag het grondwater aan, dat aan de randen tot afvoer komt via sprengen en beken of verderop als kwel in rivierdalen en de IJsselmeer-randzone. Er is hier sprake van een ecologische gradiënt, waarin de overgang tussen voedsel- en ionenarm water naar meer voedsel- en ionenrijke randgebieden resulteert in waardevolle ecologische variatie. In de kwelgebieden aan de randen van de Veluwe is de ecologie daarbij sterk afhankelijk van de samenstelling van het kwelwater. De grondwateraanvulling is in de afgelopen eeuwen verminderd door aanplant van naaldbos vanaf 1850 ([Witte et al., 2019](#)). Aan de randen van de Veluwe wordt grondwater voor drinkwaterproductie gewonnen. Daarnaast is de Veluwe door de Provincie Gelderland als Aanvullende Strategische Voorraad

aangewezen. Dit betekent dat de onttrekking van grondwater uit de Veluwe in de toekomst kan worden uitgebreid, om in een mogelijke groei van de drinkwatervraag te kunnen voorzien. In dit lopende proces wordt nog gewerkt aan een adequate bescherming van de ASV en de vormgeving van mitigerende maatregelen.

De huidige (en mogelijk in de toekomst grotere) druk op het grondwater is ongewenst, omdat hierdoor ongunstige ecologische effecten kunnen optreden, zoals het (vaker) droogvallen van sprengen en beken. Kunstmatige grondwateraanvulling zou op het gebied van waterkwantiteit een uitkomst kunnen zijn, omdat hiermee grondwaterstanden verhoogd kunnen worden, waardoor ecologische gradiënten op het vlak van droog-nat in stand gehouden kunnen worden. In de jaren 1970 is onder leiding van de Commissie Infiltratie Veluwe uitvoerig onderzoek gedaan naar grootschalige infiltratie op de Veluwe ([Romijn, 1975](#); CIW, 1976), en ook recent zijn dergelijke ideeën geopperd als antwoord op verdrogingsvraagstukken ([Peters, 2019](#); [Deltares, 2020](#)). Provincie Gelderland ziet actieve infiltratie van kwel uit de Randmeren als een mogelijke mitigerende maatregel bij eventuele benutting van de ASV in de toekomst.

Gezien de hoeveelheden water die nodig zouden zijn om een groot gebied als de Veluwe van infiltratiewater te voorzien, zou aanvoer vanuit de IJssel, Rijn of Randmeren voor de hand liggen. De kwaliteit van het infiltratiewater is hierbij een belangrijk aandachtspunt, omdat (voorgezuiverd) oppervlaktewater wat betreft ionensamenstelling sterk afwijkt van het voedsel- en ionenarme regenwater dat onder natuurlijke omstandigheden de Veluwe voedt. De Veluwse vennen zijn van nature ionenarm met bijhorende karakteristieke vegetatie. Infiltratieplassen zullen een heel andere vegetatie krijgen en het is de vraag of deze passen in het Veluws landschap ([Van Dam, 2020a](#)). Een ander aandachtspunt is de gevolgen van grootschalige infiltratie voor de randgebieden van de Veluwe. Langs de Veluwerand bevinden zich van oudsher ecologisch waardevolle gradiëntgebieden, zoals het Wisselse Veen, het Mosterdveen, en de Empese en Tondense Heide. Deze natuurgebieden hebben niet alleen voldoende water nodig, maar stellen ook specifieke eisen aan de macro-ionensamenstelling van het erin opwellende water. Als deze specifieke samenstelling moet worden behouden, dan zou de macro-ionensamenstelling van het grondwater meer in overeenstemming gebracht moeten worden met die van regenwater ([Van Dam, 2020b](#)).

De zorgen over verandering van ionensamenstelling van het grondwater bij grootschalige infiltratie van oppervlaktewater raakt aan een bredere discussie over de 'verrijning' en 'interne eutrofiering' van Nederland. In de zomermaanden wordt het water uit de grote rivieren over ongeveer driekwart van de Nederlandse oppervlakte wateren verspreid en heeft daar volgens geleid tot nivellering en ecologische schade, zoals interne eutrofiëring door de hoge sulfaatconcentraties van het systeemvreemde water ([Van Dam, 2020b](#); [Smolders, 2005](#)). Daarnaast geven recente meetgegevens van provincies aanwijzingen dat opkomende stoffen in het grondwater terecht kunnen komen door infiltratie van oppervlaktewater ([Van Loon et al., 2020](#)).

Kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater in Epe

Op kleine schaal vindt er al wel infiltratie plaats op de Veluwe, nabij de Vitens drinkwaterwinningen in Epe en Schalterberg ([van Engelenburg, 2017](#)). Deze winningen hadden zonder grondwateraanvulling een negatieve invloed op de kwelstromen in het gebied. De bron van het infiltratiewater is afstromend systeemeigen water, dat opgepompt wordt naar een hoger gelegen locatie en daar geïnfilteerd wordt door kunstmatig aangelegde vennen. De infiltraties hebben als doel om bij te dragen aan herstel van de grondwaterstanden (die niet alleen door drinkwaterwinning, maar ook door landbouwonttrekkingen en verminderde aanvulling gedaald kunnen zijn), waardoor kwelstromen, beekafvoeren en daardoor ook de natuur zich zouden kunnen herstellen.

De hydrologische en hydrogeochemische effecten van kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater in Epe zijn 20 jaar lang gemonitord, en onlangs beschreven door [Van Engelenburg et al. \(2020\)](#). De infiltratie heeft de lokale grondwaterstanden in de omgeving doen verhogen, maar heeft (nog) niet significant bijgedragen aan het herstel van het watersysteem in een nabij gebied met natuurwaarden. Dit komt doordat er lekstromen plaatsvinden naar diepere watervoerende pakketten en kwelstromen naar afvoerende oppervlaktewaterlichamen. De resultaten laten zien dat kunstmatige infiltratie in stuwwalafzettingen een effectieve strategie kan zijn voor opslag van oppervlaktewater, compensatie van grondwateronttrekkingen of waterkwaliteitsverbetering. De complexiteit van de hydrogeologie in stuwwalafzettingen kan echter resulteren in ongewenste bijeffecten, zoals waterkwaliteitsveranderingen en verhoogde grondwaterstanden in omliggende gebieden. Om een effectief infiltratiesysteem te ontwikkelen, is kennis van de

hydrogeologie, hydrogeochemie en van de kwaliteit van het infiltratiewater essentieel.

Grondwaterwinning Olden Eibergen: risico op verspreiding microverontreinigingen

Ook bij Vitens-winning 'Olden-Eibergen' in de Achterhoek wordt kunstmatige infiltratie toegepast. Oppervlaktewater uit de Berkel wordt via compensatievijvers geïnfiltrerd, met het doel de grondwaterstandsverlagingen die effecten kunnen hebben op omringende natuur en landbouw tegen te gaan ([Cirkel, 2017](#); [De Jonge en Cirkel, 2017](#)).

Door het gebruik van oppervlaktewater zijn vraagstukken rondom waterkwaliteit ontstaan, zowel met betrekking tot de infiltratievijvers als tot de drinkwaterwinning. De Berkel wordt deels gevoed door effluent van rioolwaterzuiveringen en tijdens droge perioden kan het aandeel effluent ten opzichte van overige bronnen aanzienlijk zijn. Hoewel bodempassage ervoor zorgt dat ziekteverwekkers worden verwijderd, kunnen andere stoffen, zoals organische microverontreinigingen, in het grondwater terecht komen en de winning bereiken ([Cirkel, 2017](#); [De Jonge en Cirkel, 2017](#)).

De Berkel is voor Nederland niet uniek: veel oppervlaktewateren, zeker op de zandgronden, bestaan voor een belangrijk deel uit effluent afkomstig van rwzi's ([Beard et al., 2019](#)). Bij gebruik van dit water voor infiltratie bestaat dus het risico op verontreiniging van het grondwater met organische microverontreinigingen, waaronder medicijnresten en andere in rwzi effluent voorkomende stoffen als industriële en huishoudelijke chemicaliën. Als voorbeeld: [Vissers en Van Gelderen \(2020\)](#) vonden de humane geneesmiddelen sotalol en atenolol in maar liefst 50 van de 80 monsters van freatisch grondwater in de provincie Utrecht. Vermoed wordt dat deze stoffen door beregening of via drains vanuit oppervlaktewater op het land in het grondwater terecht zijn gekomen. Dit raakt ook de discussie over mogelijk direct hergebruik van rwzi-effluent voor de landbouw ([Oerlemans, 2018](#)). In een maisperceel in Haaksbergen wordt sinds 2015 onderzoek gedaan naar subirrigatie met effluent van de naastgelegen rwzi ([Bartholomeus et al., 2018](#)). Resten van in het effluent aanwezige geneesmiddelen zijn aangetroffen in het grondwater tot 2.5 meter diepte, maar (nog) niet in het diepere grondwater (tot 10 m diepte). Verspreiding van onder andere geneesmiddelen naar het diepere grondwater wordt

door de auteurs genoemd als een belangrijk risico bij gebruik van effluent als aanvullende bron van zoetwater.

Infiltratie in kreekrugafzettingen

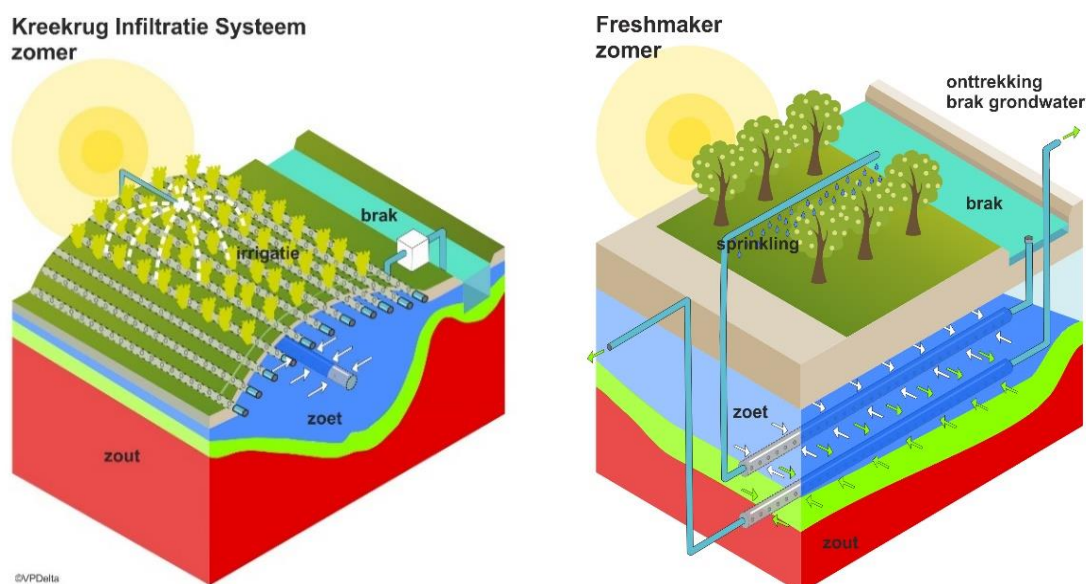
Ook in Zeeland is er aandacht voor infiltratie van oppervlaktewater ten behoeve van de zoetwatervoorziening in dit gebied met grotendeels brak en zout grondwater. Delen van Zeeland bestaan uit kreekrugafzettingen, die relatief hoger in het landschap liggen dan de omliggende kwelders. Door deze hogere ligging en door een langjarig neerslagoverschot hebben zich in de loop van de tijd zoetwaterlenzen gevormd. Deze zoetwaterlenzen zijn uitermate geschikt voor de tijdelijke berging van zoetwater in tijden van wateroverschot en voor de latere duurzame winning ervan in tijden van watertekorten in de landbouw.

Verschillende typen systemen voor de opslag van zoetwater in kreekruggen zijn ontwikkeld binnen het project GO-Fresh ([Oude Essink et al., 2018](#)). Het Kreekrug Infiltratiesysteem Systeem (KIS) is gebaseerd op het verhogen van de grondwaterstand, waardoor na verloop van tijd een dikkere zoetwaterbel ontstaat. De verhoging van de grondwaterstand wordt gerealiseerd met een peilgestuurd drainagesysteem, waarmee drainagepeilen worden opgezet en waarmee tevens zoet oppervlaktewater wordt geïnfiltrerd. Bij de Freshmaker ([Zuurbier et al., 2018](#)) wordt oppervlaktewater in de kreekrug geïnfiltrerd via een horizontale put op enkele meters diepte in het grondwater. Tevens wordt dieper onderliggend brak grondwater afgevangen en afgevoerd, zodat meer verticale ruimte komt voor zoetwateropslag.

Deze systemen in zoetwaterlenzen zijn redelijk geïsoleerd van omliggende gebieden en het aangevoerde oppervlaktewater is gebiedseigen. Het effect op de grondwaterkwaliteit is daardoor zeer lokaal. Het waterschap wil vat hebben op de te infiltreren waterkwaliteit, door aan het begin van de winter eenmalig de waterkwaliteit te meten en te veronderstellen dat deze gedurende de winter alleen maar beter wordt door verdunning. Het is daarbij belangrijk om de kwaliteit van het infiltratiewater af te zetten tegen de kwaliteit van het vanuit landbouwpercelen infiltrerend bodemwater, dat ook meststoffen en pesticiden kan bevatten.

De ontwikkeling en toepassing van systemen als KIS en de Freshmaker waren de aanleiding om in 2015 de [Technisch-juridische handreiking risicobeoordeling](#)

ondergrondse waterberging (Zuurbier et al., 2015) op te stellen. Ondanks de praktische insteek van deze handreiking, blijkt vaak nodig om een relatief omvangrijke 'standaardbeoordeling' toe te passen, met bijbehorende hoge kosten. In recente discussie komt daardoor de vraag op of er onder voorwaarden een beperktere beoordeling mogelijk zou zijn.



Figuur 5. Kreekrug infiltratiesysteem (links) en de Freshmaker (rechts). (Oude Essink et al., 2018)

10. KENNISLEEMTES

Waterbeheerders werken aan de ontwikkeling van strategieën om de effecten van toenemende droogte en verdroging te mitigeren. In veel gebieden speelt oppervlaktewater daarin een belangrijke rol. Enerzijds door de aanvoer van oppervlaktewater te vergroten, anderzijds door oppervlaktewater actief te infiltreren in de ondergrond. Vooral op de zandgronden kan dit zijn weerslag hebben op de kwaliteit van het grondwater en op termijn negatief doorwerken op omliggende functies, zoals aangegeven in enkele van de voorbeelden.

Een duidelijk handelingskader om omgevingseffecten mee te nemen in besluitvorming en ontwerpprocessen ontbreekt echter, of wordt als te omvangrijk ervaren. Hoe weeg je het tegengaan van verdroging door infiltratie af tegen de introductie van opkomende stoffen in het grondwater? Is infiltratie van grote hoeveelheden water op de Veluwe gewenst als dat op termijn negatief kan doorwerken op de ecologisch waardevolle gradiëntgebieden aan de flanken die

specifieke eisen stellen aan de ionensamenstelling van het kwelwater? Om deze discussie op inhoudelijke gronden te kunnen baseren zijn de volgende kennisleemtes relevant om in te vullen:

1. Gedrag opkomende stoffen in de ondergrond: recente monitoring geeft aanwijzingen dat infiltrerend oppervlaktewater in wateraanvoergebieden een belangrijke bron is van 'opkomende stoffen' als resten van geneesmiddelen en cosmetica in grondwater. Het is echter onbekend welke stoffen in het oppervlaktewater een risico vormen voor de grondwaterkwaliteit. Hiervoor is het noodzakelijk om op basis van bekende stoffeigenschappen, zoals molecuulstructuur en functionele groepen, het gedrag in de ondergrond te kunnen schatten. Breken stoffen af en is daarmee het risico beperkt? Of zijn ze persistent en behouden ze hun werking ook in het grondwater? Om het nodige gebiedsgerichte maatwerk te kunnen leveren is een generieke kennisbasis van stoffen en stoffeigenschappen gewenst.
2. Effecten op grondwaterkwaliteit in brede zin: Vanuit de Kaderrichtlijn Water moet negatieve doorwerking op natuur en drinkwater worden voorkomen. Om besluitvorming over en ontwerprichtlijnen voor de toepassing van grote infiltratiesystemen mogelijk te maken is het noodzakelijk om meer inzicht te krijgen in de effecten van geïnfiltrerd oppervlaktewater op de grondwaterkwaliteit in brede zin. Daarbij gaat het naast verspreidingsgedrag van organische microverontreiniging met name ook om de verandering van ionen- en nutriëntensamenstelling van het grondwater bij grootschalige infiltratie van oppervlaktewater. Deze vragen hebben sterke parallellen met de bredere discussie over de 'verrijning' en 'interne eutrofiering' van Nederland (zie bijvoorbeeld [Van Dam, 2020b](#); [Smolders, 2005](#)).
3. Verstoppingsrisico's: Bij aanleg en beheer van infiltratiesystemen moet rekening gehouden worden met verstoppingen waardoor de infiltratiecapaciteit in de praktijk na verloop van tijd sterk kan worden beperkt. Dit geldt vooral voor de meer engineered-systemen met verticale of horizontale filters maar ook infiltratiepanden kunnen hier last van hebben. Met de huidige kennis is het lastig om verstoppingsrisico's te voorspellen en te bepalen of (en in welke mate) voorzuivering noodzakelijk is.
4. Effecten op geochemische bescherming: Bij infiltratie onder hoge infiltratiesnelheden kunnen reactieve bodembestanddelen die het grondwater beschermen tegen verzuring (zoals kalk) en oxidatie (zoals pyriet en

organische stof) versneld uitlogen. Dit is een bekend verschijnsel in duinwaterinfiltratiesystemen ([Stuyfzand et al., 2007](#); [Stuyfzand, 2011](#)) en is recent ook geïnventariseerd voor de zandgronden in relatie tot verhoogde input van agrarische en industriële verontreinigingen ([Van de Grift en Stuyfzand, 2019](#)). Buiten de bestaande infiltratiesystemen is het grotendeels onbekend hoe geochemische bescherming wordt aangetast door infiltrerend oppervlaktewater en in hoeverre dit bijdraagt aan de vergrijzing van het grondwater.

Geadviseerd wordt om deze kennisvragen op te pakken in de context van de belangrijkste beleidstekorten zoals hierboven benoemd: het ontbreken van een duidelijk handelingskader om omgevingseffecten mee te nemen in besluitvorming en ontwerpprocessen. Parallel daaraan speelt de ontwikkeling van het beschermingsbeleid voor Aanvullende Strategische Voorraden om een scenario van toenemende drinkwatervraag op te kunnen vangen. Op basis van reeds beschikbare kennis kunnen al stappen gezet worden om deze beleidstekorten aan te vullen.

11. BRONNEN & LINKS

Annema, M., Aggenbach, C.J.S. Jansen, A., 2020. Het vroom ontrafeld. Veertig jaar waterwinning en natuurbeheer in de Middel- en Oostduinen op Goeree. Uitgave Evides Waterbedrijf, Rotterdam/Natuurmedia – ISBN 978082433661

Bartholomeus, R.P., Stofberg, S.F., Van den Eertwegh, G.A.P.H., Cirkel, D.G., 2018. Hergebruik restwater voor zoetwatervoorziening in het landelijk gebied: Monitoring sub-irrigatie met rwzi-effluent Haaksbergen. BTO 2017.062.

<https://library.kwrwater.nl/publication/55459130/>

Beard, J.E., Bierkens, M.F.P., Bartholomeus, R.P., 2019. Following the Water: Characterising de facto Wastewater Reuse in Agriculture in the Netherlands. Sustainability 2019, 11(21), 5936. <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/21/5936/htm>

Cirkel, D.G., Van Beek, C.G.E.M., Witte, J.P.M., Van der Zee, S.E.A.T.M., 2014. Sulphate reduction and calcite precipitation in relation to internal eutrophication of groundwater fed alkaline fens. Biogeochemistry, 117(2-3), pp.375-393. <https://doi.org/10.1007/s10533-013-9879-4>

- Cirkel, D.G., 2017. Kwantificeren korte reistijden door middel van traceronderzoek: tracerproef Olden Eibergen. BTO 2017.010.
<https://library.kwrwater.nl/publication/55036830/>
- CIV, 1976. Rapport van de Commissie Infiltratie Veluwe, uitgebracht aan de Minister van Volksgezondheid en Milieuhygiëne.
- Van Dam, H., 2020a. Infiltratie Veluwe: oud water in nieuwe zakken? H2O Podium,
<https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-podium/opinie/infiltratie-veluwe-oud-water-in-nieuwe-zakken>
- Van Dam, H., 2020b. Veluws grondwater: geen Wateraccu of Nationale Gieter, maar Biodiversiteitsmotor. H2O podium, <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-podium/opinie/veluws-grondwater-geen-wateraccu-of-nationale-gieter-maar-biodiversiteitsmotor>
- Deltares, 2020. Het Nationale Gieter Idee op de Veluwe.
<https://www.deltares.nl/nl/nieuws/het-nationale-gieter-idee-op-de-veluwe/>
- Van Engelenburg, 2017. Schalterberg, infiltratieproject.
<https://www.waterwinst.nl/project/schalterberg-infiltratieproject/>
- van Engelenburg, J., de Jonge, M., Rijpkema, S. et al., 2020. Hydrogeological evaluation of managed aquifer recharge in a glacial moraine complex using long-term groundwater data analysis. Hydrogeol J (2020).
<https://doi.org/10.1007/s10040-020-02145-7>
- Van der Grift, B en Stuyfzand, P.J., 2019. Uitloging geochemisch buffervermogen ondergrond. BTO 2019.036, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
<https://library.kwrwater.nl/publication/59953526/>
- 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, KWR Water Research Institute, Nieuwegein
<https://library.kwrwater.nl/publication/61459076/>
- Hendriks, D.M.D., Van Ek, R., 2009. Naar een (KRW-)methodiek voor het bepalen van de kwantitatieve interactie tussen grondwater en oppervlaktewater. Case-studie 't Merkske. Deltares rapport 0906-0107. <http://publications.deltares.nl/0906-0107.pdf>
- De Jonge, M. en Cirkel, D.G., 2017. Tracers bij oevergrondwaterwinning. H2O-Online (2017)24 oktober. <https://library.kwrwater.nl/publication/55340580/>
- Oerlemans, H. (2018). Droogte: hergebruik effluent in stroomversnelling. Les van 2018: elke kubieke meter water telt tijdens droogte. Interview B. Worm, R.P.

Bartholomeus, R. van der Neut. H2O 52(2019)1, p.15-18.

<https://www.h2owaternetwerk.nl/h2opremium/hergebruik-effluent-in-stroomversnelling>

Oude Essink, G.H.P., Pauw, P.S., Van Baaren, E., Zuurbier, K., De Louw, P., Veraart, J., MacAteer, E., Van Der Schoot, M., Groot, N., Cappon, H., Waterloo, M., Hu-a-ng, K., Groen, M., 2018. GO-FRESH: Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening; Rendabel en duurzaam watergebruik in een zilte omgeving.

<https://edepot.wur.nl/521462>

Peters, J.H., Slings, Q.L. en Stakelbeek, A., 1992. Open Infiltratie Nieuwe Stijl. H2O (25) nr 19. <https://edepot.wur.nl/75051>

Peters, J.H., 2019. Ruimte nodig voor wateropslag? Kijk eens naar de Veluwe. De Volkskrant, 4 november 2019. <https://www.volkskrant.nl/columns-opinie/ruimte-nodig-voor-wateropslag-kijk-eens-naar-de-veluwe~bf62145a/>

De Putter, P. Handgraaf, S., Zuurbier, K.G., Raat, K.J., 2018. COASTAR Bestuurlijk-juridisch onderzoek naar het grootschalig opslaan van zoet water in de (brakke) ondergrond. KWR 2018.070. <https://library.kwrwater.nl/publication/56131056/>

Romijn, E., 1975. Het onderzoeksprogramma van de Commissie Infiltratie Veluwe. H2O (8) 1975, nr 15. <https://edepot.wur.nl/413014>

Smolders, A.J.P., L. P. M. Lamers, E. C. H. E. T. Lucassen, G. Van Der Velde, J. G. M., Roelofs, 2005. Internal eutrophication: How it works and what to do about it—a review. *Chemistry and Ecology* 22(2): 93-111.

<https://doi.org/10.1080/02757540600579730>

Stuyfzand, P.J., Luers, F., 1996. Gedrag van milieugevaarlijke stoffen bij oeverinfiltratie en kunstmatige infiltratie. KIWA Mededeling 125.

<https://library.kwrwater.nl/publication/51465837/>

Stuyfzand, P.J., Luers, F., 2000. Balans van milieugevaarlijke stoffen. KIWA Mededeling 126. <https://library.kwrwater.nl/publication/59425106/>

Stuyfzand, P. J., 2002. Quantifying the hydrogeochemical impact and sustainability of artificial recharge systems. In: *Proceedings of the 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater*, Adelaide, South Australia (pp. 22-26).

<https://www.taylorfrancis.com/books/management-aquifer-recharge-sustainability-peter-dillon/e/10.1201/9781003078838>

Stuyfzand, P. J., Segers, W., Van Rooijen, N., 2007. Behavior of pharmaceuticals and other emerging pollutants in various artificial recharge systems in the Netherlands. In: *Management of aquifer recharge for sustainability : proceedings of the 6th International Symposium on Managed Artificial Recharge of Groundwater*, ISMAR6,

Phoenix, Arizona USA October 28 - November 2, 2007.

https://www.researchgate.net/publication/267149813_Behavior_of_pharmaceuticals_and_other_emerging_pollutants_in_various_artificial_recharge_systems_in_the_Netherlands

Stuyfzand, P.J., 2011. Hydrogeochemical processes during river bank filtration and artificial recharge of polluted surface waters: zonation, identification and quantification. In: C. Ray and M. Shamrukh (eds), Riverbank Filtration for Water Security in Desert Countries, Nato Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, 97- 128. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-0026-0_7

Van der Grift, B., Hockin, A. van Vliet, M., Dijkstra, J., Janssen, G. (2022). Geochemisch buffervermogen van de ondergrond: beschikbare data, 3D kaarten en trendanalyse. STOWA-rapport. nummer xxx.

Van der Velde Y., De Louw P. (2006). Een hydrologische effectenstudie voor de uitwerking van de maatregelen in het ruilverkavelingsproject. TNO, Delft.

Vissers, M., Van Gelderen, J., 2020. Nieuwe inzichten in freatische grondwaterkwaliteit provincie Utrecht. H2O, https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/nieuwe-inzichten-in-freatische-grondwaterkwaliteit?comment_id=377

Witte, J.-P., B. Voortman, K. Nijhuis, M. van Huijgevoort, S. Rijpkema, T. Spek, 2019. Met het historische landschap verdween het water van de Veluwe. Stromingen 33: 91-107. <https://library.kwrwater.nl/publication/59136402/>

Zuurbier, K., et al. (2015). Technisch-juridische handreiking risicobeoordeling ondergrondse waterberging, STOWA Rapport 2015 – 35. <https://www.stowa.nl/publicaties/technisch-juridische-handreiking-risicobeoordeling-ondergrondse-waterberging>

Zuurbier, K.G., Van Dooren, T.C.G.W., Ros, S.E.M. (2018) Improved Freshmaker Reference site. Improved Freshmaker reference site in Ovezande, the Netherlands (TRL8). SUBSOL del. D1.4, <https://library.kwrwater.nl/publication/56187792/>

Zuurbier, K.G., ter Mors, G., van Bijnen, F., 2019. Ondergrondse wateropslag in aquifers als bron voor irrigatie, kostentechnisch interessant? H2O-Online (2019)13 maart. <https://library.kwrwater.nl/publication/59314381/>

12. COLOFON

Deze Deltafact is geschreven in het kader van het project Grondwater van de Kennisimpuls Waterkwaliteit. In de Kennisimpuls werken Rijk, provincies, waterschappen, drinkwaterbedrijven en kennisinstututen 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 duurt vier jaar. Het wordt gefinancierd door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, STOWA, waterschappen, provincies en drinkwaterbedrijven.

Auteurs: Teun van Dooren (KWR), Klaasjan Raat (KWR), Sija Stofberg (KWR)

Peer review: Bas van der Grift (KWR), Annemieke Marsman (Deltares)

In samenwerking met Deltares en TNO.

Versie: 20 april 2022