



AUTEURS



Peer Timmers en Astrid Reus
(KWR Water Research)



Pieter Stuyfzand
(KWR, Stuyfzand
Hydroconsult)



Tineke Slootweg en
(Het Waterlaboratorium)



Aleksandra Knezev

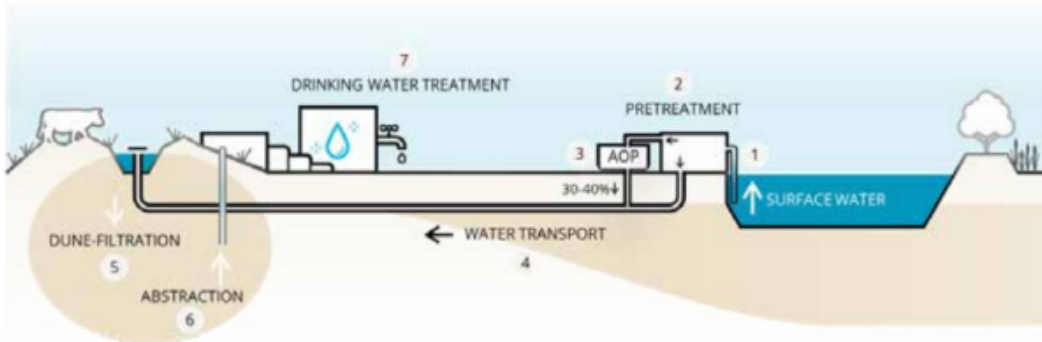


Jamal El Majjaoui en Karin Lekkerkerker-Teunissen
(Dunea)



VERWIJDERING ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN MET GEAVANCEERDE OXIDATIE EN DUININFILTRATIE

Drinkwaterbedrijf Dunea (Den Haag en omstreken) produceert drinkwater uit oppervlaktewater via duinfiltratie. De kwaliteit van het in te nemen oppervlaktewater komt de komende decennia meer onder druk te staan door een toename van organische microverontreinigingen (OMV), zoals geneesmiddelen, röntgencontrastmiddelen, pesticiden en industriële stoffen, in combinatie met periodiek lage rivierafvoeren. OMV kunnen negatieve effecten op de gezondheid hebben, maar zijn moeilijk volledig te verwijderen. Dit is een serieuze zorg voor de drinkwaterproductie. Biedt een combinatie van geavanceerde oxidatie en duinfiltratie uitkomst?



Abbeelding 1. Schema van de drinkwaterzuivering door Dunea. Oppervlaktewater wordt ingenomen (1) en voorbehandeld met snelle zandfiltratie (2) en daarna deels (30-40%) met geavanceerde oxidatie (3). Dit voorbehandelde water wordt getransporteerd naar het duininfiltratiesysteem (4) en geïnfiltreerd (5), waarna water wordt onttrokken (6) voor drinkwaterproductie (7).

Drinkwaterbedrijf Dunea heeft tien jaar geleden al aangetoond dat in rivierwater een scala aan OMV wordt afgebroken wanneer snelfiltratie wordt gevolgd door geavanceerde oxidatie (AOP) met waterstofperoxide, ozon en UV. AOP zorgt voor omzetting van organisch materiaal naar kleinere koolstofketens, o.a. makkelijker 'assimileerbaar organisch koolstof' (AOC). Nadeel hiervan is dat AOC in verband wordt gebracht met een verhoogde bacteriegroei in distributienetten. Een ander bekend nadeel van AOP is dat er ongewenste bijproducten worden gevormd (zoals nitriet en bromaat) en transformatieproducten wanneer geen complete mineralisatie van OMV plaatsvindt. Uiteraard wil Dunea dit beperken. Het bedrijf gebruikt o.a. hiervoor duininfiltratie in de Zuid-Hollandse duinen. De hypothese van dit onderzoek is dat een combinatie van AOP en duininfiltratie voordelen biedt:

1. Doordat met AOP organische verbindingen zoals microverontreinigingen (OMV) worden afgebroken, worden minder OMV in de duinen geïnfiltreerd. Daarnaast kan gevormde AOC natuurlijke afbraakprocessen in het duin stimuleren.
2. De transformatieproducten en bijproducten van AOP worden door natuurlijke afbraakprocessen tijdens duininfiltratie verwijderd.

Om deze hypothese te onderzoeken is Dunea in 2018 gestart met een grootschalig onderzoek.

Het zuiveringsproces

Het bij Bergambacht ingenomen rivierwater ondergaat een voorzuivering door snelfiltratie.

Daarna gaat het infiltratiewater via transportleidingen naar o.a. duingebied Berkheide (bij Katwijk).

In dit onderzoek werd een deelstroom bij Bergambacht extra voorgezuiverd met geavanceerde oxidatie (AOP), gevolgd door actieve koolfiltratie. Hiervoor is een eigen AOP-methode ontwikkeld, 'GOBAM' (Geavanceerde oxidatie Bergambacht), die werkt met een combinatie van waterstofperoxide, ozon en UV (met lagedruk-lampen).

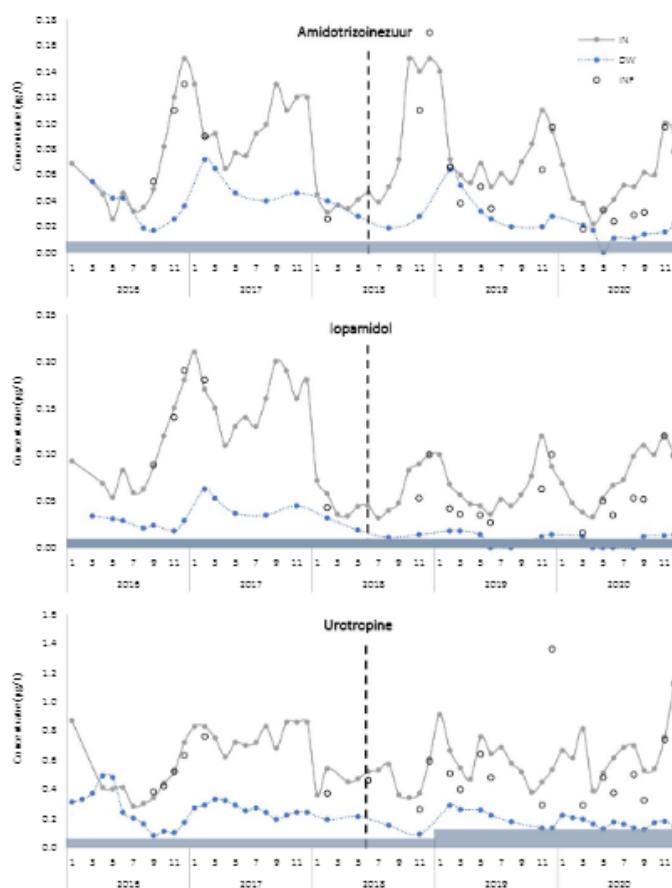
Vervolgens wordt de hoofdstroom van het infiltratiewater (snelfiltraat) gemengd met het GOBAM-behandeld water (30-40%) en na transport geïnfiltreerd in de duinen van Berkheide. Eerst in infiltratiepanden met korte verblijftijd, daarna in panden met lange verblijftijd (zie openingsfoto). Het geïnfiltreerde water wordt teruggewonnen door horizontale drains en pompputten op zekere afstand, en nagezuiverd tot drinkwater (afbeelding 1).

Monstername en metingen

De effecten van deze aanpak op de waterkwaliteit in het duininfiltratiesysteem en in het uiteindelijke drinkwater zijn onderzocht. De nulmetingen (2016-2017, geen GOBAM) en de effectmetingen (2018-2020, met GOBAM) zijn gedaan op dezelfde monsterpunten, verdeeld over het hele zuiveringstraject. Hier werden de hydrologische, microbiologische, (an)organisch-chemische en toxicologische effecten gemonitord. Het ging om de volgende monsterpunten:

- voor en na de voorzuivering met snelle zandfiltratie (en AOP in 2018-2020),
- in de transportleiding (vlak voor aankomst in het duin),
- in de infiltratiepanden met korte verblijftijd,
- in de panden met lange verblijftijd,
- na ongeveer 1 meter duinbodempassage (in een peilbuis in elk van de panden),
- in het verzamelde ruwwater uit het hele infiltratiegebied Berkheide,
- en in het nagezuiverde drinkwater.

Het effect van GOBAM werd beoordeeld op de omzetting van OMV in transformatieproducten en vorming van bijproducten (o.a. bromaat en nitriet) en hoe deze zich tijdens duininfiltratie gedragen. Hiervoor zijn veranderingen in o.a. reistijden, nutriënten, redoxgevoelige componenten, zware metalen, OMV-transformatieproducten, microbiologie en toxicologie gemonitord tijdens duininfiltratie en in het uiteindelijke drinkwater.



Afbeelding 2. Concentraties ($\mu\text{g/L}$) van de röntgencontrastmiddelen amidotrizoïnezuur en iopamidol, en van urotropine gedurende 5 jaar, in het ingenomen water (IN; zwarte stippen), infiltratiewater (INF; open stippen) en drinkwater (DW; blauwe stippen). De verticale lijn scheidt de periodes vóór en na introductie van GOBAM. De rapportagegrens is weergegeven als grijze balk.

Hydrologische en hydrogeochemische condities

Eerst is bepaald of het duin in de meetperiodes zonder en met GOBAM vergelijkbaar was in de potentie om OMV te verwijderen. Hiervoor zijn de redoxcondities en de reistijd boven- en ondergronds belangrijke parameters. Op alle meetpunten is de verblijftijd bepaald aan de hand van pieken in de (semi)natuurlijke tracers chloride, elektrische geleiding en temperatuur. Om eventuele verschuivingen in redoxcondities te kunnen waarnemen zijn de redox-gevoelige hoofdcomponenten O_2 , NO_3^- , SO_4^{2-} , Fe, Mn en NH_4^+ regelmatig geanalyseerd. De verschillen hierin tussen beide periodes (met en zonder GOBAM) bleken verwaarloosbaar. Veranderingen in waterkwaliteit tussen beide periodes kunnen dus toegeschreven worden aan andere externe factoren, zoals de kwaliteit van het inname-water en seizoenseffecten, of aan de effecten van GOBAM.

OMV-verwijdering

De verwijdering van OMV door GOBAM was zoals verwacht zeer goed. Vóór de GOBAM-stap werden 48 OMV minstens één keer boven de rapportagegrens aangetroffen. Hiervan

werden er 31 voor ruim 80% verwijderd, en nog eens 6 andere lieten een afname zien van 50-80%. GOBAM had dus een netto positief effect op de kwaliteit van het te infiltreren water. Toch werden er na duinfiltratie van de 37 (deels) verwijderde stoffen nog altijd 3 stoffen incidenteel en 6 stoffen regelmatig boven de rapportagegrens aangetroffen. Die laatste waren amidotrizoïnezuur en iopamidol (röntgencontrastmiddelen), EDTA en urotropine (industriële stoffen), acesulfaam (zoetstof) en primidon (geneesmiddel). Dit kwam mede door een vertraging van het effect van GOBAM door de lange verblijftijden, en doordat slechts een deel van het water met GOBAM behandeld werd. In de periode kort na introductie van GOBAM werd water onttrokken dat geen GOBAM had ondergaan. Na een langere monitoringsperiode was de verwijdering in 2020 voor de röntgencontrastmiddelen en urotropine wel significant verbeterd (afbeelding 2).

Effecten AOP op duingebied

In het effluent van de AOP (GOBAM) zijn verhoogde concentraties AOC aangetroffen. In de transportleiding van

Bergambacht naar de duinen daalden ze tot hetzelfde niveau als tijdens de nulmeting, waarschijnlijk door (beperkte) microbiële afbraak en door de menging met onbehandeld snelfiltraat. De microbiële groei resulteerde voornamelijk niet in een toename van de leidingweerstand. Het door AOP gevormde AOC nam dus af tijdens transport en kwam niet in de eerste infiltratiepanden terecht, waardoor het de activiteit van micro-organismen in het duin niet kon stimuleren. Als besloten wordt de GOBAM-deelstroom te verhogen en er mogelijk wel AOC in het duin terecht komt, dan kan dit effect beter onderzocht worden.

Bij AOP worden verschillende (meestal ongewenste) bijproducten gevormd. In de eerste infiltratiepanden zijn deze te zien: enigszins verhoogde concentraties broom, bromoform en nitriet. In één van die panden was sprake van een geringe mutagene activiteit. In verderop gelegen infiltratiepanden en tijdens de daaropvolgende duinbodempassage waren zij niet meer meetbaar. Het drinkwater liet voor bovengenoemde bijproducten geen verschillen zien tussen de nulmeting en de effectmeting.

Een parallelle ecologische studie in hetzelfde infiltratiegebied liet bovendien zien dat implementatie van AOP geen effect had op de KRW-classificatie (Penders et al.).

Toepassing

Deze resultaten laten zien dat AOP en duinpassage elkaar als zuiveringsproces goed aanvullen. Het is een goede manier om OMV-verwijdering te verbeteren zonder negatieve effecten op de drinkwaterproductie of de omgeving (ecologie). De GOBAM-deelstroom gaf als direct resultaat een verminderde belasting met OMV in het duin en snellere daling van de concentraties in het drinkwater. De verwachting is dat de inzet van GOBAM op lange termijn zal resulteren in een verdere daling van de concentraties van genoemde OMV in het drinkwater. Deze gunstige effecten zijn wellicht toepasbaar in meer infiltratiegebieden en in andere ondergrondse en/of biologische zuiveringsprocessen. Vervolgonderzoek waarbij AOP wordt toegepast op 100% van het te infiltreren water zal nog meer inzicht geven in de effecten van AOP op duinfiltratie (de (an) organische chemie, toxicologie, biologische stabiliteit en activiteit, en de microbiële populaties) en de toepasbaarheid.

De uitgebreide resultaten van dit onderzoek zijn beschreven door Timmers et al. Als vervolg op dit project is een geochemisch en microbiologisch meetprogramma uitgevoerd en is het gedrag van OMV in de infiltratiepanden en ondergrond van Berkheide gemodelleerd om verwijderingsmechanismen van prioritaire stoffen in de ondergrond beter te begrijpen en te voorspellen (Van de Grift et al. en Stuyfzand).

Peer Timmers en Astrid Reus (*KWR Water Research*), Tineke Slootweg en Aleksandra Knezev (*Het Waterlaboratorium*), Jamal El Majjaoui en Karin Lekkerkerker-Teunissen (*Dunea*), Pieter Stuyfzand (*KWR, Stuyfzand Hydroconsult*)

BRONNEN

Timmers et al., 2021. 'Effecten van geavanceerde oxidatie op de waterkwaliteit en microbiologie bij duinfiltratie', KWR rapport 2021.047.

Timmers et al., 2022. Improved drinking water quality after adding advanced oxidation for organic micropollutant removal to pretreatment of river water undergoing dune infiltration near The Hague, Netherlands. *Journal of Hazardous Materials*, online 26 January 2022. 128346, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128346>.

Van de Grift B., Timmers P.H.A., Stuyfzand P. 2022. Geochemische en microbiologische metingen rond pand 38 en 40-2 te Berkheide, KWR rapport 2022.026.

Stuyfzand P.J. 2021. Modelleren organische microverontreinigingen, met effecten van AOP en bodemslib, in duinfiltratiesysteem Berkheide. Report Stuyfzand Hydroconsult+, SH+2021.008, 53p.

Penders E.J.M. Water Framework Directive evaluation of AOP (In Dutch: KaderRichtlijnWater beoordeling GOBAM studie), project report 202104, Het Waterlaboratorium.

SAMENVATTING

Drinkwaterbedrijf Dunea produceert drinkwater uit oppervlaktewater via duinfiltratie. De toename van organische microverontreinigingen (OMV) in het oppervlaktewater is een serieuze zorg voor de drinkwaterkwaliteit. Dit artikel laat zien dat combinatie van geavanceerde oxidatie en duinfiltratie een goede manier is om de verwijdering van OMV te verbeteren, zonder negatieve effecten op de drinkwaterproductie of op het infiltratiegebied.