

De belofte van circulair water 1: verkennende studie naar grootschalig effluenthergebruik

Ferdinand Kiestra, Hilke van den Elsen (Waterschap Aa en Maas), Enna Klaversma (Haskoning), Tessa van den Brand (KWR)

Een circulaire waterketen met (vrijwel) volledig hergebruik van gezuiverd huishoudelijk afvalwater zou voor de waterkwaliteit, de zoetwatervoorraad én de milieu-impact van de waterketen wel eens de beste stap voorwaarts kunnen zijn, die ook nog eens betaalbaar is. Dus niet steeds een stapje verder zuiveren voor elk ‘nieuw-stofje-van-de-week’, maar meteen op grotere schaal inzetten op een hoge waterkwaliteit die geschikt is voor hergebruik. Een verkennende studie van Waterschap Aa en Maas, Haskoning en KWR laat zien wat daarvan de potentie is. De uitkomsten bieden inspiratie voor de toekomstige waterketen en de omgang met steeds strengere waterkwaliteitsnormen.

De huidige waterketen is in grote lijnen nog altijd een lineair systeem, van drinkwaterproductie via watergebruik tot de lozing van gezuiverd afvalwater. Water wordt gezien als gebruiksproduct, waarbij soms vergeten wordt wat de waarde van deze grondstof is voor natuur, economie en gezondheid. In 2023 was de toegevoegde waarde van water voor de landbouw, industrie en dienstensector samen maar liefst € 128 per m³ [1].

In de ideale wereld wordt het water na gebruik dan ook weer teruggebracht voor een volgende gebruikscyclus. En dan het liefst met de kwaliteit waarmee het ooit aan die bron is onttrokken. Dit zorgt voor een constante watervoorraad, creëert bewustzijn van de stoffen die aan die cyclus worden toegevoegd, en zorgt dat de investeringen in de waterketen weer terugvloeien naar de maatschappij. Dit toekomstbeeld lijkt nog ver weg. De vele (zeer) zorgwekkende stoffen, de extra kosten en de vele organisaties in de waterketen maken het complex. Toch is voor het sluiten van de watercyclus, mede geïnspireerd door buitenlandse initiatieven (o.a. Californië [2] en Singapore [3]), een verkenning gedaan in het beheergebied van Waterschap Aa en Maas.

Droogtegebied Land van Cuijk

In Noordoost-Brabant, ten zuiden van Nijmegen, ligt de gemeente Land van Cuijk. Het gebied wordt in het noorden en oosten begrensd door de Maas, in het westen door de Peelhorst en in het zuiden door de grens met Limburg. Het gebied heeft totale afmetingen van ongeveer 15 bij 25 km. Van het winterbed van de Maas loopt het hoogteverschil tot de Peelhorst op met ongeveer 10 meter, waardoor het watersysteem rondom de beek de Raam onder vrij verval op de Maas afwatert. De rwzi Land van Cuijk ligt in het lageregelegen gedeelte net onder Cuijk.

Het gebied kent, zoals veel hoge zandgronden, een droogteproblematiek. Natuurgebieden hebben last van verdroging, de grondwaterstanden dalen en in Noord-Brabant wordt over het algemeen meer water onttrokken dan aangevuld [4]. In de droge zomers van 2018, 2019 en 2022 zijn delen van de beken en sloten drooggevalen en heeft de rest van het watersysteem last gehad van een te lage stroming. Algengroei, opwarming en minder zuurstof in de beken waren het gevolg. Niet alleen zijn deze situaties bedreigend voor het leven in de beken, ook voor de landbouw heeft dat al meerdere jaren op rij tot problemen geleid.

De afgelopen tijd is een groot palet aan maatregelen genomen om het gebied droogtebestendiger te maken. Denk hierbij aan beekherstelprojecten, peilverhogingen en een nieuwe inlaat voor Maaswater. Uit een eerdere studie is gebleken dat dit echter niet voldoende is om het droogteprobleem gebiedsdekkend en structureel op te lossen. Hydrologen schatten dat het beekstelsysteem in droge tijden gebaat zou zijn met een extra aanvoer van tenminste 600 liter seconde (of $2.160 \text{ m}^3/\text{u}$). Daarbij geldt wel als randvoorwaarde dat deze extra aanvoer stopgezet kan worden bij overmatige neerslag.

Wat betreft het grondwater werken veertien partijen provinciebreed in een droogteagenda aan de opgave om jaarlijks tot 150 miljoen m^3 water in de bodem vast te houden en 100 miljoen m^3 minder te onttrekken [5]. In Noord-Brabant wordt ongeveer 300 miljoen m^3 rwzi-effluent 'geproduceerd'. Hergebruik van dit effluent kan daarom een significante bijdrage leveren aan de besparingsopgave.

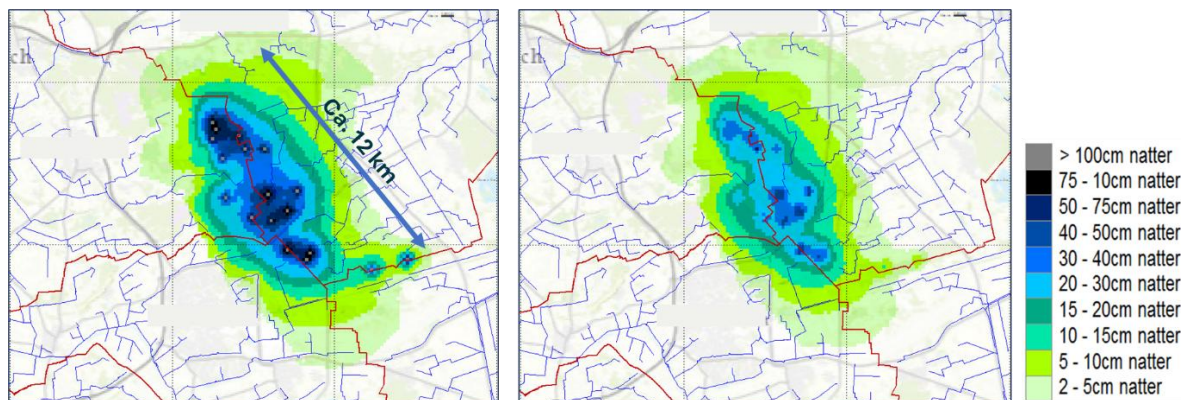
Mogelijke oplossing: een flexibel en stuurbaar systeem met rwzi-effluent

Om de droogteproblematiek het hoofd te bieden is een theoretische verkenning gedaan naar een concept waarin het effluent van de lokale rwzi maximaal wordt hergebruikt (totaal ca. $1.150 \text{ m}^3/\text{u}$ of 320 l/s). Op dit moment wordt namelijk 90% van dit effluent geloosd op de Maas en slechts 10% ingelaten in het gebied (op de Laarakkerse Waterleiding). Hoe kan zoveel mogelijk effluent regionaal worden hergebruikt? En welke waterkwaliteitsnormen horen daarbij?

Het hier uitgewerkte concept gaat uit van flexibiliteit en stuurbaarheid, waarmee meerdere doelen gediend kunnen worden:

1. het voeden van droogvallende of stagnerende beken in tijden van droogte
2. het aanvullen van de grondwatervoorraad
3. het aanbieden van een alternatieve bron voor landbouw en industrie en op termijn misschien zelfs als bron voor drinkwaterproductie
4. het benutten van de warmte-inhoud van het effluent voor bijvoorbeeld nieuwbouwwijken

Voor het aanvullen van grondwater is een modelstudie uitgevoerd met passieve infiltratie op zandgronden. Daaruit blijkt dat met een debiet van $180 \text{ m}^3/\text{u}$ (50 l/s) een significante grondwaterstijging plaatsvindt (de ambitie is 35 cm verhoging) in een gebied van grofweg 12 bij 6 km (zie afbeelding 1), zelfs als alleen in de natte maanden geïnfiltreerd zou worden (zie rechter grafiek). En met het beschikbare aanbod van ongeveer $1.150 \text{ m}^3/\text{u}$ zou deze oppervlakte nog een factor zes groter kunnen worden. Ook wordt duidelijk dat het water in de zomermaanden op andere plekken kan worden ingezet. Het eerder geïnfiltreerde water wordt namelijk relatief goed vastgehouden.



Afbeelding 1. Impact op de grondwaterstand van passieve effluentinfiltratie van $180 \text{ m}^3/\text{u}$ (of 50 liter/s) op basis van modelberekeningen bij de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG). Links: jaarrond infiltreren, rechts: okt t/m apr

De stuurbaarheid van het systeem is belangrijk in twee opzichten:

- A. In de ruimte: het gezuiverde effluent moet op verschillende plekken geleverd kunnen worden. Hiervoor moet een separaat leidingnet worden aangelegd.
- B. In de tijd: de behoeften van landbouw, beken of grondwateraanvulling wisselen door het jaar heen. De vraag voor de beken en de landbouw beperkt zich tot de drogere maanden en het groeiseizoen. Een oplossing voor die tijdelijke vraag kan grondwateraanvulling zijn.

Via een aangenomen tracé van 25 kilometer kunnen twee droogtegevoelige beken worden bediend, de Lage en Hoge Raam, en kan grondwater worden aangevuld op hoger gelegen gronden. Onderweg passeert de leiding twee grotere dorpen (met potentiële warmtebenutting) en landbouwgronden (o.a. voor bonte teelt). De bestaande afvoerroute naar de Maas blijft intact voor afvoer in extreem natte tijden.

Nut en noodzaak van een hoge(re) waterkwaliteit

Voor de genoemde toepassingen blijkt een hogere waterkwaliteit van het effluent nodig dan nu wordt geloosd vanaf de rwzi. Zeker voor infiltratie geldt een zorgplicht om de grondwatervoorraad niet te verslechteren. Het concept biedt daarmee een goede prikkel voor betere zuiveringsprestaties, maar brengt uiteraard ook aanvullende kosten met zich mee. In deze studie wordt de referentiesituatie vergeleken met twee varianten op waterkwaliteit, kosten en milieu-impact:

Referentiesituatie:	het huidige effluent, inclusief zandfiltratie voor lagere waarden van stikstof en fosfaat
Effluent 1:	zandfiltratie (ZF) plus aanvullende verwijdering van microverontreinigingen (met biologisch actieve koolfiltratie (BAKF) en ozon)
Effluent 2:	ZF plus ultrafiltratie (UF) en omgekeerde osmose (RO). Het concentraat wordt geloosd op de Maas, na een behandeling met BAKF en ozon om te voldoen aan de (toekomstige) wettelijke normen.

Tabel 1 toont per variant het percentage effluenthergebruik. Ook zijn de te behalen effluentwaarden vergeleken met de te verwachten normering. In het geval van toepassing voor infiltratie is uitgegaan

van het huidige infiltratiebesluit voor oppervlaktewater. Die normering geldt niet voor toepassing van effluent en is bovendien verouderd, maar biedt voor nu wel de beste leidraad.

Tabel 1. Vergelijking effluentkwantiteit en -kwaliteit en toepassingsnormen voor oppervlaktewater (Lage en Hoge Raam) en infiltratie

Parameter	Bronnen			Toepassing	
	Referentie (zandfiltratie)	Effluent 1 (ZF + BAKF + ozon)	Effluent 2 (ZF + UF + RO), inclusief behandeling concentraat	Lage en Hoge Raam	Infiltratie **
% effluent-hergebruik *	100%	95%	60%	-	-
N-tot (mg N/l)	2,82	2,8 (vooral nitraat)	0,56	2,3 (KRW) 3,7 (huidig)	8,1 (norm)
P-tot (mg P/l)	0,24	0,2	0,01	0,11-0,22 (KRW) 0,05 (huidig)	0,4 (norm)
Micro's (µg/l)	0,1 - 0,5	<0,1	<0,02	0,1 (norm)	<0,5 (norm)

* Effluent 2 heeft een kleiner netto volume vanwege reststromen door twee membraantoepassingen

** Waarden uit bijlage XIX van Besluit Kwaliteit Leefomgeving

De tabel laat zien dat de effluentkwaliteit pas na omgekeerde osmose volledig voldoet aan de norm en huidige toestand voor stikstof en fosfor. Ondanks de vergaande verwijdering van microverontreinigingen met BAKF en ozon, zullen er altijd stoffen in het effluent achterblijven. Dat risico wordt sterk verkleind met omgekeerde osmose. Een groot nadeel van RO is echter dat een relatief groot verlies van water naar het concentraat. De beschikbare hoeveelheid water in droge periodes is daarmee het laagste van de verschillende varianten.

Ook chloride is een aandachtspunt, omdat in de huidige situatie waarden tot wel 250 mg/l kunnen voorkomen in het effluent. Het concept met RO zou al direct tot een verlaging van de zoutvracht in het gebied leiden, maar een brongerichte sturing, door samen met enkele grotere chloride-lozers tot andere oplossingen te komen, heeft de voorkeur.

De resulterende concentraatstroom na omgekeerde osmose voldoet nog aan de nieuwe Europese Richtlijn Stedelijk Afvalwater voor stikstof en fosfaat (resp. 6 en 0,5 mg/l), verwijdert meer dan 80% van microverontreinigingen en heeft een chloridegehalte van ongeveer 650 mg/l. Bij een immissietoets met de modellen van Rijkswaterstaat op deze parameters voldoet dit water aan de eisen voor lozing op de Maas.

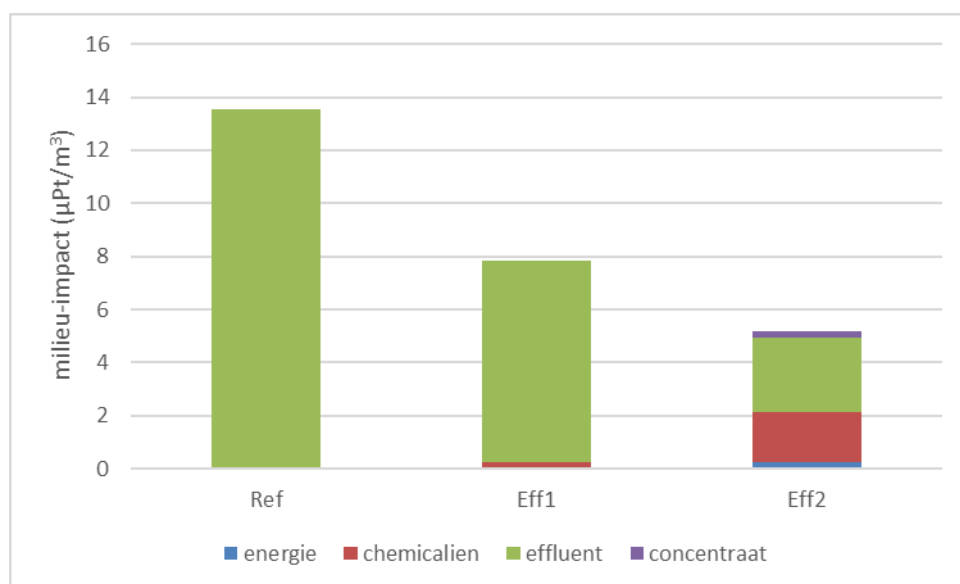
Overall milieu-impact

De geschetste technologieën creëren een hogere waterkwaliteit dan het huidige effluent, maar vragen wel meer energie en chemicaliën. Hebben deze aanvullingen wel een positieve overall milieu-impact? En wat is de positieve impact van verder zuiveren dan de norm, zoals bij de RO-variant?

Dit vraagt om een integrale vergelijking op milieu-impact, waarvoor KWR een model ontwikkelt. Dit model, gebaseerd op de levenscyclusanalyse-systematiek (LCA), maakt het mogelijk om ook de effluentkwaliteitsverbetering mee te nemen in de milieu-impactbeoordeling. De milieu-impact wordt uitgedrukt in micro-Ecopunten per m³ water (μPt/m³).

Er is onderscheid gemaakt in milieu-impact als gevolg van chemicaliën en energieverbruik (groen) enerzijds, en effluent- en concentraatlozing anderzijds. Hierbij is aangenomen dat het effluent wordt geloosd op de beken in het gebied en het concentraat op de Maas. Vanwege het grotere ontvangende waterlichaam en de hogere achtergrondconcentraties, zal de impact van de concentraatlozing op de Maas lager zijn dan die op de lokale beken.

Afbeelding 2 laat zien dat het hogere gebruik van chemicaliën en energie bij toenemende zuiveringsinspanning (varianten 'eff1' en 'eff2'), worden gecompenseerd door de milieuwinst van de waterkwaliteitsverbetering. Een belangrijk aspect daarbij is de stikstofvorm in het effluent. Door de ozondosering in variant 1 wordt ammonium omgezet in nitraat, waardoor de milieu-impact drastisch verlaagd wordt ondanks het totaal-stikstof dat nauwelijks lager is dan bij de referentie (zie tabel 1).



Afbeelding 2. Milieu-impact effluentvarianten in μPt/m³. Er is uitgegaan van groen energiegebruik. In de impact van het effluent zijn CZV, P, N en enkele zware metalen (9) en microverontreinigingen (6) meegenomen. Hoe lager de score, hoe beter voor het milieu

De milieuwinst van het effluent wordt voornamelijk bepaald door de lagere hoeveelheden stikstof en fosfor in het effluent, hoewel die wel lager zijn dan de lozingseisen. De andere stoffen (zware metalen, microverontreinigingen) en chemisch zuurstofverbruik (CZV) geven in LCA-berekeningen nog een beperkte milieu-impact in LCA berekeningen. Dit heeft twee oorzaken: voor sommige stoffen is onvoldoende bekend over hun milieu-impact, waardoor deze informatie nog niet in de gebruikte modellen zit. Daarnaast is de weging op ecotoxiciteit nog (te) laag ten opzichte van die van klimaatverandering en eutrofiering. Dit wordt nader toegelicht in een tweede artikel [6]. In de praktijk

is echter bekend dat er ook winst wordt behaald voor stoffen die nog niet meegenomen kunnen worden. De uiteindelijke milieuwinst zal dus nog hoger uitvallen.

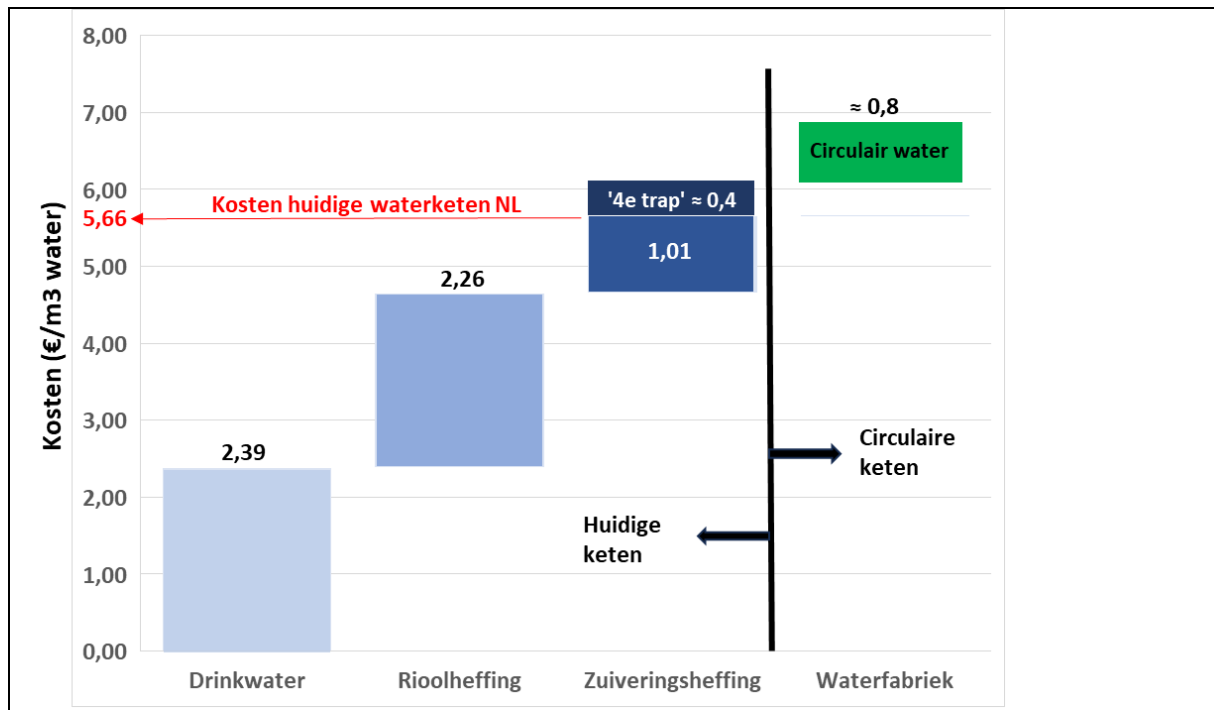
Wat ook (nog) niet kon worden meegenomen in deze studie (zowel milieutechnisch als financieel), is de positieve impact van een extra zoetwaterbron op het milieu (tegengaan van verdroging van natuurgebieden en stromend houden van beeksystemen).

Betaalbare optie?

Om schoon water te kunnen leveren aan het gebied zijn wel forse investeringen nodig. Er moeten een leiding, inlaatpunten en een infiltratievoorziening worden aangelegd. Omdat de levensduur van deze voorzieningen lang is, zijn de jaarlijkse kosten relatief laag. Wat betreft de investering op de zuivering geldt dat het waterschap in het kader van de KRW en de herziene EU Richtlijn Stedelijk Afvalwater al verplicht is om op rwzi Land van Cuijk nutriënten en microverontreinigingen vergaand te verwijderen. Variant 'eff1' (met zandfiltratie, BAKF en ozon) voldoet aan die wettelijke eisen. De benodigde investering in nazuivering bij deze variant wordt daarom gezien als verplichte basis en niet als onderdeel van de schoonwaterlevering. Feitelijk wordt dat geld dan benut als katalysator voor een hogere waterkwaliteit voor hergebruik.

De investeringskosten voor de aanvullende zuivering van variant 'eff2' - ultrafiltratie en RO inclusief concentraatbehandeling - (€ 35 miljoen), de transportleiding (€25M) en de infiltratievoorziening (€3M) komen in totaal uit op circa 63 miljoen euro (raming +/- 40%). De jaarlijkse kosten van de zuivering komen uit op zo'n €5M/jaar (inclusief afschrijving) en van het transport en infiltratie op ongeveer €1,4M/jaar (inclusief afschrijving). Die totale jaarlijkse kosten leveren, bij afzet van het totale jaarvolume (6 miljoen m³/jaar), een kostprijs van ongeveer 1,2 €/m³. Wanneer de jaarlijkse kosten voor de microverontreinigingen ('vierde trap') hier vanaf worden gehaald (wettelijke verplichting), daalt de netto kostprijs tot ca. 0,8 €/m³.

Deze kostprijs per m³ is zeer concurrerend met een drinkwatertarief en maatschappelijk goed te verdedigen. Wanneer deze namelijk wordt afgezet tegen de huidige landelijk gemiddelde waterketenkosten blijkt de aanvullende investering voor een circulaire keten slechts 15% hoger uit te pakken (zie afbeelding 3).



Afbeelding 3. Kostenraming voor een circulaire waterketen in euro per m³, ten opzichte van de huidige waterketenkosten (landelijk gemiddelde) [7], [8]

Daarnaast zijn alternatieve manieren om water beschikbaar te maken vaak (veel) duurder, zoals hemelwatersystemen in huishoudens voor toilet en wasmachine (ca. 9 - 21 €/m³ [9], [10] of grijswaterbehandeling met helofytenfilters (0,5 – 2,5 €/m³) [11]

Conclusies en discussie

Deze verkenning laat zien dat grootschalig hergebruik van rwzi-effluent niet alleen technisch mogelijk is, maar ook maatschappelijke meerwaarde biedt. Het biedt een strategische kans om meer droogtebestendige gebieden te creëren, waarbij schoon water van een hogere kwaliteit beschikbaar komt voor natuur, landbouw en industrie. Hiermee kan het watersysteem niet alleen robuuster worden, maar ontstaat ook een impuls voor de waterkwaliteit van beken en de biodiversiteit die daarvan afhankelijk is.

Door effluentkwaliteit integraal mee te nemen in de milieubeoordeling, blijkt dat vergaande zuivering, met name op stikstof en fosfaat, substantiële milieuwinst kan opleveren. De oxidatie van ammonium naar nitraat is daarbij een opvallend effectieve stap, die de impact aanzienlijk verlaagt. Microverontreinigingen worden in de huidige levenscyclusanalyse nog maar beperkt meegenomen, maar naarmate er meer bekend wordt over hun toxiciteit en milieu-impact, zal vergaande verwijdering in deze analyse relatief nóg gunstiger uitvallen.

Wat dit concept bijzonder maakt, is de integratie van waterketen en watersysteem: effluent is niet langer een restproduct, maar een waardevolle bron in een circulaire keten. Door gebruik te maken van differentiatie in lozingslocaties – gevoelig versus minder gevoelig water – kan bovendien gestuurd worden op milieu-impact.

Hoewel de investeringen fors zijn, is de kostprijs concurrerend met bestaande alternatieven. Zeker wanneer wordt meegerekend dat verdere zuivering op microverontreinigingen wettelijk verplicht is, en de aanvullende kosten voor circulair gebruik dus relatief beperkt zijn. Wanneer dit concept grootschalig

wordt uitgerold, blijkt een circulaire waterketen financieel haalbaar en maatschappelijk verdedigbaar. Daarin zijn de maatschappelijke baten voor de landbouw, industrie en de natuur nog niet eens meegenomen.

Er zijn natuurlijk ook kanttekeningen. De vraag naar zoetwater is seizoensgebonden, terwijl het systeem jaarrond kosten met zich meebrengt. Grondgebruik voor infiltratievelden, de omgang met concentraatstromen, het hogere energieverbruik en de afweging tussen technische of natuurlijke watersysteemmaatregelen verdienen verdere uitwerking. Daarnaast vraagt een dergelijke systeemverandering om partnerschap en heldere financiële afspraken – mogelijk zelfs op landelijk niveau.

Toch lijkt deze benadering een aantrekkelijke strategische zet in het licht van toekomstige uitdagingen, zoals een duurzame zoetwatervoorziening, droogtebestrijding, steeds strengere normen en een toenemend aantal zorgwekkende stoffen. Hopelijk inspireert deze studie en zet deze aan tot nieuwe ontwikkelingen om de waarde van water maximaal te benutten.

Referenties

1. Centraal Bureau voor de Statistiek (2025). *SDG 6 Schoon water en sanitair*. <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/monitor-brede-welvaart-en-de-sustainable-development-goals/sdg-s/sdg-6-schoon-water-en-sanitair>, geraadpleegd op 6 augustus 2025
2. Orange County Water District (2025). *Groundwater Replenishment System. New Water You Can Count On*. <https://www.ocwd.com/gwrs/>, geraadpleegd op 6 augustus 2025.
3. Singapore's National Water Agency (2025). *NEWater*. <https://www.pub.gov.sg/Public/WaterLoop/OurWaterStory/NEWater>, geraadpleegd op 6 aug. 2025
4. Adviescommissie Droogte (2025). *Eindrapport: Zonder water, geen later*. <https://www.klimaatadaptatiebrabant.nl/k/n442/news/view/3811/2775/eindrapport-adviescommissie-droogte-zonder-water-geen-later.html>, geraadpleegd op 6 aug. 2025
5. Provincie Noord-Brabant (2024). *Droogteagenda Noord-Brabant, naar een robuust watersysteem in 2040 met het grondwaterconvenant als vertrekpunt. Infiltratie-en onttrekkingsdoelstellingen ten opzichte van autonome groei*. <https://www.brabant.nl/publish/pages/13021/20380-a-droogteagenda-noord-brabant.pdf>, geraadpleegd op 6 aug. 2025
6. Brand, T. van den, Hofman-Caris, R., Hoondert, R., Zwamborn, M. (2025). 'De belofte van circulair water 2: waterkwaliteit krijgt te weinig aandacht in milieu-analyse.' *H2O-Online*, 14 augustus 2025. <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/de-belofte-van-circulair-water-2-waterkwaliteit-krijgt-te-weinig-aandacht-in-milieu-analyse>
7. Centraal Bureau voor de Statistiek. www.cbs.nl, geraadpleegd op 6 aug. 2025 .
8. Belasting Samenwerking Rivierenland. www.bsr.nl, geraadpleegd op 6 aug. 2025.
9. Witteveen+Bos (2023). *Rapport Decentraal gebruik van hemelwater*. <https://wmd.nl/wp-content/uploads/2024/06/Rapport-Decentraal-gebruik-van-hemelwater-september-2023.pdf>
10. Witteveen+Bos (2023). Hemelwater- en grijswatergebruik in het gebouw.
11. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (2024). *Saniwijzer*. <https://www.saniwijzer.nl/technieken/verwerking-afvalwater/natuurlijke-systemen/helofytenfilter-conventioneel>, geraadpleegd op 6 aug. 2025