



Experiment / pilot / Implementatie / in gebruik

## > Hergebruik van effluent

IDEE/VERKENNING



PROOF OF CONCEPT



EXPERIMENT/PILOT



IMPLEMENTATIE/IN GEBRUIK

### INHOUD

**INLEIDING**  
**GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS**  
**STRATEGIE**  
**SCHEMATISCHE WEERGAVE**  
**TECHNISCHE KENMERKEN**  
**GOVERNANCE**  
**KOSTEN EN BATEN**  
**PRAKTIJKERVARING EN LOPEND ONDERZOEK**  
**KENNISLEEMTES**  
**LITERATUUR/ LINKS**

### INLEIDING

De totale hoeveelheid communaal effluent (gezuiverd afvalwater) in Nederland schommelt jaarlijks, maar bevindt zich sinds het begin van deze eeuw rond de 2 miljard kubieke meter ([www.statline.cbs.nl](http://www.statline.cbs.nl)). Het overgrote deel van dit effluent wordt gezuiverd in communale rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's), in 2017 zo'n 330 in Nederland. Hierbij wordt het ruwe influent gezuiverd tot effluent, wat vervolgens weer op het oppervlaktewater wordt geloosd. Zuivering van rioolwater bestaat uit verschillende stappen. In de meeste gevallen worden mechanische zuivering (primaire zuivering, het verwijderen van grof vuil door roosters en deeltjes door bezinking) en biologische zuivering (secondaire zuivering, met behulp van beluchting breken bacteriën stoffen af) toegepast. In sommige gevallen wordt extra nazuivering toegepast, bijvoorbeeld in de vorm van waterharmonica's ([www.waterharmonica.nl](http://www.waterharmonica.nl)).

**Naast 35% huishoudelijk afvalwater bestaat de rest van het effluent uit afvalwater van bedrijven (15%), hemelwater (30%) en zogenaamd rioolvreemd water (20%). Deze laatste categorie bestaat uit water dat onbedoeld in het riool belandt, zoals infiltrerend grond- of oppervlaktewater (Liefstink en De man, 2017).**

Sinds het begin van de jaren 80 van de vorige eeuw is de efficiëntie van de rwzi's sterk verbeterd, zeker waar het nutriëntenemissies betreft. Zo is de concentratie N in die tijd met een factor 2-3 gedaald en P met een factor 4. Overigens lijkt er voorlopig een einde te zijn gekomen aan deze dalingen. Sinds 2008 blijven de hoeveelheden nutriënten op hetzelfde niveau ([www.emissieregistratie.nl](http://www.emissieregistratie.nl)). Met de verbeterde efficiëntie zijn ook concentraties van andere parameters zoals pathogenen, metalen en organische microverontreinigingen substantieel gedaald. Hierdoor heeft het effluent in de loop der tijd een dusdanig kwaliteit gekregen dat (direct) hergebruik van effluent, als zoetwaterbron, steeds meer als optie naar voren komt. Dat geldt overigens ook voor andere reststromen, maar deze factsheet gaat met nadruk over rwzi-effluent. In 2014 werd slecht 2 promille van de totale hoeveelheid communaal effluent hergebruikt (persoonlijke mededeling CBS), de verwachting is dat deze hoeveelheid de komende jaren verder gaat toenemen.

Op dit moment is er ook veel aandacht voor het terugwinnen van verschillende (grond)stoffen uit effluent, zoals fosfaat (in de vorm van struviet), cellulose en alginaat. Daarnaast wordt ook steeds meer energie in de vorm van biogas uit het zuiveringsproces teruggewonnen (zie o.a. <https://www.waterschappen.nl/projecten/grondstoffenfabriek/>). Deze toepassingen vallen buiten de scope van deze deltafact. Het betreft hier enkel de mogelijkheden van hergebruik als zoetwaterbron.

Hergebruik van effluent als bron van zoetwater kan om verschillende redenen overwogen worden:

- In Nederland bedraagt het waterverbruik door land- en tuinbouw (inclusief drinkwatergebruik) gemiddeld zo'n 100 à 150 miljoen m<sup>3</sup>/jaar, met pieken tijdens droge jaren (256 miljoen m<sup>3</sup> in 2003). Voor een deel van deze watervoorziening wordt oppervlaktewater gebruikt. Uit grondwater wordt daarnaast nog eens ongeveer 40 à 50

- miljoen m<sup>3</sup>/jaar onttrokken (<http://www.clo.nl/indicatoren/nl0014-watergebruik-landbouw>). Een groot deel van dit water wordt onttrokken voor het beregenen van gewassen gedurende droge periodes. De voorspelling is dat onder invloed van klimaatverandering deze droge periodes steeds vaker en langduriger zullen optreden. Hierdoor kan de druk op het beschikbare zoetwater door verschillende sectoren toenemen. Het onttrekken van meer grondwater voor irrigatie, kan op den duur gepaard gaan met natuurschade en kan een negatieve invloed hebben op de drinkwaterreserves. Gezuiverd restwater uit de industrie en rwzi-effluent zijn mogelijke alternatieven voor beregeningswater (STOWA, 1996, 2001). Cirkel et al. (2017) hebben veel kennis over effluent en het hergebruik in de landbouw recent op een rij gezet; een groot deel van de tekst van deze deltafact is aan Cirkel et al. (2017) ontleend.
- Het gebruik van effluent als irrigatiewater kan goedkoper zijn dan het (op termijn) ontzouten van zeewater voor hetzelfde doeleinde, afhankelijk van de hoeveelheid beschikbaar effluent, de hoeveelheid benodigd water en de maatregelen/kosten verbonden aan het (her)gebruik van oppervlaktewater en effluent .
  - Naast het inzetten als irrigatiewater voor de landbouw kan effluent ook ingezet worden als proceswater voor industrie, bijvoorbeeld voor processen waarbij er minder zware eisen aan de kwaliteit van het proceswater worden gesteld. Hierbij kan een behoorlijke kostenbesparing optreden door een verminderde inname van drinkwater.
  - In het kader van de circulaire economie wordt door het hergebruik van effluent de economische waarde van deze afvalstroom gemaximaliseerd en vindt tevens een reductie van de **water footprint** plaats.
  - Door het (direct) hergebruik van effluent, kan de oppervlaktewaterkwaliteit verbeteren, omdat het relatief verontreinigde effluent niet in het oppervlaktewater belandt. Overigens kan dit op den duur wel een extra milieubelasting voor de bodem betekenen.
  - Een belangrijk praktisch voordeel van het hergebruik van effluent is dat het in principe een vrij constante beschikbare stroom is, namelijk de DWA stroom van rwzi's. Tevens is het in grootste deel van Nederland beschikbaar, aangezien rwzi's geografisch gezien behoorlijk verspreid liggen.

Naast bovengenoemde voordelen zijn er ook nadelen aan het hergebruik van effluent.

- Over het algemeen is de samenstelling van communaal effluent redelijk constant. Er kunnen echter schommelingen in de samenstelling optreden, bijvoorbeeld door calamiteiten of forse regenbuien. Dit maakt effluent niet geschikt voor processen waarbij een constante kwaliteit vereist is.
- Daarnaast kan effluent nog allerlei microverontreinigingen en pathogenen bevatten, die in het zuiveringsproces vaak slechts gedeeltelijk verwijderd worden. De aanwezigheid hiervan kan tot ecotoxicologische en humane risico's leiden, bijvoorbeeld in het geval van beregening van landbouwgewassen.
- Ook zou het in een toekomstig scenario bij veelvuldig hergebruik van effluent zo kunnen zijn dat de vraag het aanbod (DWA stroom van rwzi) kan gaan overtreffen.
- Als het toepassingsgebied op grote afstand van het effluent ligt, zal aanwending al gauw niet meer kosteneffectief zijn.

## GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS

**Onderwerpen:** Effluent, hergebruik, restwater, gietwater, beregening, proceswater, rwzi, drinkwater.

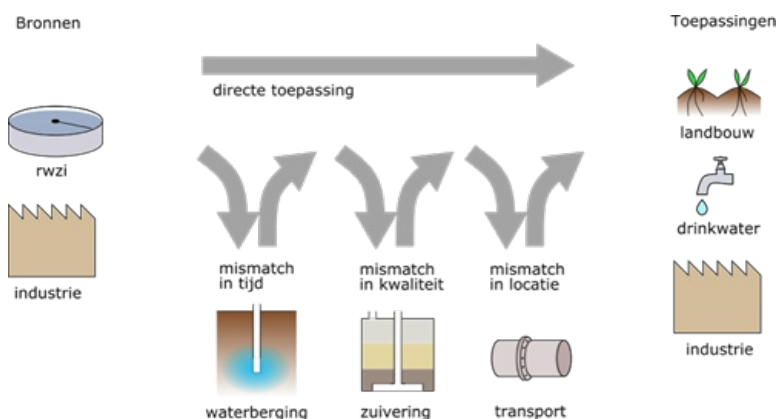
### Deltafacts:

Beprijzen van water voor de landbouw  
Bodem als buffer  
Onderwaterdrains  
Waterreservoirs op bedrijfsniveau  
Beprijzen van water voor de landbouw  
Zoetwatervoorziening  
Effecten klimaatverandering op landbouw  
Brakke kwel

## STRATEGIE

Een groeiende disbalans – mede gestuurd door klimaatverandering - in watervraag en -aanbod leidt tot meer druk op het beschikbaar grond- en oppervlaktewater. Verhoging van de regionale zelfvoorziening in de zoetwatervraag door efficiënt gebruik van beschikbare waterbronnen is daarom van groot belang. Efficiënt hergebruik van effluent beoogt het optimaal benutten van restwaterstromen uit verschillende bronnen voor diverse toepassingen. Hierbij moet gelet worden op een match tussen de kwantiteit en de kwaliteit van het water, evenals op de timing van het aanbod en de locatie. In geval van mismatch kunnen technische maatregelen bijdragen aan het creëren van een match tussen vraag en aanbod. Een goede match moet zowel praktisch als economisch haalbaar zijn.

## SCHEMATISCHE WEERGAVE



**Figuur 1. Schematische weergave van mogelijke toepassingen van restwater. Restwaterstromen, zoals afstromend hemelwater, rwzi-effluent of industrieel effluent kunnen direct, of indirect (na bijvoorbeeld berging in de ondergrond, extra zuivering of transport) worden toegepast voor bijvoorbeeld landbouw (beregening of sub-irrigatie), drinkwater of industrieel proceswater.**

## TECHNISCHE KENMERKEN

De manier waarop effluent ingezet kan worden voor hergebruik, hangt af van verschillende factoren. Naast de *hoeveelheid water*, spelen ook de *samenstelling* van het beschikbare water, de *beschikbaarheid verdeeld over de tijd* (bijvoorbeeld seizoensbeschikbaarheid), de *locatie en andere beschikbare bronnen* een rol. Hierbij zijn grote verschillen tussen effluentbronnen te identificeren. Afhankelijk van de eisen van de toepassing van het effluent kunnen aanvullende maatregelen nodig zijn om voldoende water van de juiste kwaliteit op het juiste moment op de juiste plaats te krijgen.

**Tabel 1. Mogelijke bronnen van effluent en de bijbehorende waterkwaliteit, beschikbaarheid over de tijd en locatie.**

Bron	Kwaliteit	Beschikbaarheid	Locatie
Rwzi's	Verschillende soorten verontreinigingen	Relatief constant	Rwzi's
Industrie	Afhankelijk van proces, zeer goed tot sterk verontreinigd	Afhankelijk van proces, constant, onregelmatig of seizoensgebonden	Nabij industrie

**Tabel 2. Mogelijke toepassingen van effluent en de bijbehorende eisen aan kwaliteit, beschikbaarheid en locatie.**

Toepassing	Kwaliteit	Periode van watervraag	Locatie
Landbouw, tuinbouw	Afhankelijk van type verontreinigingen en wijze van toepassing	Seizoensgebonden	Agrarisch gebied, tuinbouwgebieden
Drinkwater (mens en/of dier)	Zeer hoge kwaliteit	Relatief constant	Bebouwd gebied
Industrie	Afhankelijk van proces	Afhankelijk van proces	Nabij industrie

**Tabel 3. Mogelijke knelpunten bij hergebruik van effluent en bijbehorende maatregelen.**

Knelpunt	Maatregel	Voorbeelden
Kwaliteit	(Aanvullende) zuivering	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zandfilter</li> <li>Omgekeerde osmose (RO)</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bodempassage (subinfiltratie)</li> <li>• Actieve kool</li> <li>• Ozonisatie</li> <li>• Chlorering</li> <li>• Helofytenfilter</li> <li>• Waterharmonica</li> </ul>
Moment van beschikbaarheid	Tijdelijke berging	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buffertanks</li> <li>• Bassins</li> <li>• Ondergrondse waterberging</li> </ul>
Locatie	Transport	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Via leidingen</li> <li>• Via oppervlaktewater</li> </ul>

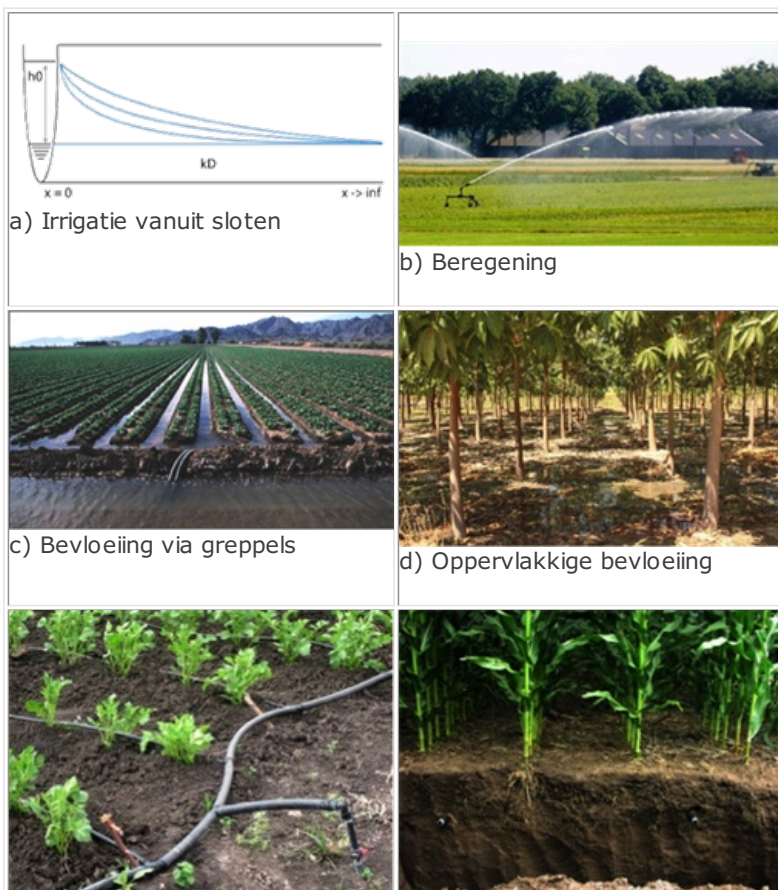
**Tabel 1** geeft een overzicht van de kwaliteit, beschikbaarheid en locaties van verschillende bronnen van effluent.

**Tabel 2** laat zien welke eigenschappen van belang zijn om effluent toe te passen voor verschillende doeleinden. Hierbij is een afbakening gemaakt naar landbouw, drinkwater en industrie, hoewel mogelijke toepassingen nog breder zijn, zoals bijvoorbeeld voor recreatiewater (STOWA, 1996). Als we beide tabellen vergelijken, wordt duidelijk dat effluent vaak niet, of niet direct, toegepast kan worden, omdat het aanbod niet voldoet aan de eisen.

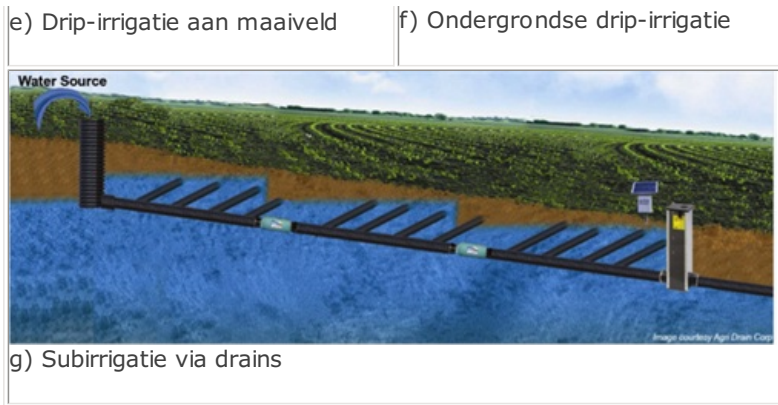
**Tabel 3** toont verschillende typen maatregelen die genomen kunnen worden ten aanzien van knelpunten op het gebied van waterkwaliteit, beschikbaarheid over de tijd en locatie. Of een maatregel zinvol is hangt vooral af van de praktische en economische haalbaarheid. Hieronder worden enkele voorbeelden besproken om de tabellen toe te lichten.

De hoeveelheid effluent uit rwzi's is echter vrij constant over de tijd. Hoewel er in de rwzi diverse zuiveringsstappen plaatsvinden, bevat rwzi-effluent nog een breed scala aan bestanddelen, waaronder nutriënten, pathogenen en restanten van genees- en bestrijdingsmiddelen, waardoor het voor veel toepassingen niet direct gebruikt kan worden zonder verdere zuivering (Toze, 2006). Onbewust van de herkomst van dit water wordt dit water vaak (her)gebruikt, nadat het is geloosd op het oppervlaktewater. Vooral tijdens de zomerperiode kan de lozing van restwater een belangrijke factor zijn in de watervoerendheid van beken. Benedenstroomse boeren onttrekken oppervlaktewater in veel gebieden om hun gewassen te beregenen. In droge perioden kan een groot deel van het water in beken bestaan uit effluent (Kuijper et al. 2012), waardoor er sprake is van onbewust hergebruik.

Hergebruik van effluent vindt tot nu toe vooral plaats in de (internationale) land- en tuinbouw (Cirkel et al. 2017; Toze, 2006). De gebruikte irrigatiemethoden kunnen grote invloed op de blootstelling van veldwerkers en omwonenden hebben door verontreinigingen en pathogenen, maar ook op de kwaliteit van bodem, grondwater en gewas (Figuur 2). Bovengrondse bevoeiingsmethoden leveren hierbij meer risico op voor mens en gewas, terwijl ondergrondse bevoeiingsmethoden meer risico opleveren op verontreiniging van het grondwater, alhoewel Cirkel et al (2017) aangeven dat er voorbeelden zijn van langjarige en grootschalige experimenten in het buitenland waar nog steeds geen problemen meetbaar zijn.







**Figuur 2. Diverse vormen van irrigatie van landbouwpercelen (Cirkel et al. 2017).**

Onderstaande tekst is grotendeels ontleend aan Cirkel et al. (2017). Of en in welke mate een in het effluent aanwezige stof bij irrigatie een risico vormt voor de drinkwatervoorziening, de voedselproductie of de omgeving is afhankelijk van de aard en concentraties van de in het effluent aanwezige stoffen, en in het bijzonder de route die de stof aflegt na irrigatie. Irrigatie is in combinatie met bodempassage een effectieve, maar in Nederland in onbruik geraakte, manier om verontreinigingen uit effluent te zuiveren en de vochtvoorziening op peil te houden (Van Lohuizen, 2006). Sinds 2010 draait in Haaksbergen (Waterschap Vechtstromen) echter weer een proef met subirrigatie van rwzi-effluent in een landbouwperceel met Klimaat-Adaptieve-Drainage (KAD) waar naar zowel de effecten op waterkwantiteit als -kwaliteit gekeken wordt (Bartholomeus et al, 2016b). Lejean & Remy (2012) en Sharma & Kennedy (2016) geven aan dat het verbeteren van de kwaliteit van effluent door bodempassage, ook wel 'Soil Aquifer Treatment (SAT)' genoemd, een robuuste en milieuvriendelijke manier is om effectief pathogenen, nutriënten, organische stof en de meerderheid van organische microverontreinigingen te verwijderen.

De efficiëntie waarmee verontreinigingen in SAT-systemen worden verwijderd is sterk afhankelijk van de inkomende waterkwaliteit en voorzuivering, lokale hydrologische en bodemchemische condities en de manier van infiltreren (STOWA, 2015). Goed inzicht in alle componenten van een systeem en doordachte selectie van locaties is hierbij cruciaal (Sharma & Kennedy, 2016). Onzorgvuldige toepassing kan leiden tot verontreiniging van bodem, zoals bij het SAT-systeem wat in Parijs werd toegepast, waar door stapeling van zware metalen enkel nog industriële gewassen worden verbouwd (Védry et al., 2001) of tot verontreiniging van het grondwater als bron van drinkwater zoals bij Hilversum (Van Lohuizen, 2006). Het milieu- en gezondheidskundig veilig toepassen van restwater in de landbouw voor beregening en/of sub-irrigatie vraagt dus om zorgvuldigheid, zowel aan de bronkant, als aan de gebruikskant, en aan de kant van het ontvangende bodem-water-plant systeem.

Gezuiverd restwater kan een bijdrage leveren aan het op peil houden van de landbouwwatervoorziening in een veranderend klimaat. Juist op de droogtegevoelige hoge zandgronden verlaten significante hoeveelheden opgepompt grondwater, dat gebruikt is voor drink- en proceswater, uiteindelijk via riool, rwzi en oppervlaktewater versneld het systeem. Daarnaast heeft het veelal secundair gezuiverd effluent een forse impact op de kwaliteit.

Daar waar het effluent van goede kwaliteit is, zal er weinig discussie zijn over hergebruik. Daar waar irrigatie en grondwateraanvulling plaatsvindt met rwzi-effluent is het van belang mogelijke risico's te kennen gezien de in het effluent aanwezige zware metalen, pathogenen, antibiotica resistentiegenen en organische microverontreinigingen, zoals gewasbeschermingsmiddelen en medicijnresten. Of en in welke mate deze stoffen en organismen een probleem vormen, is sterk afhankelijk van de vruchten, de manier van irrigeren of infiltreren en de geteelde gewassen.

Gezien de huidige lage concentraties in effluent zullen zware metalen bij verspreiding over voldoende oppervlak waarschijnlijk geen gevaar vormen voor de grondwaterkwaliteit en de kwaliteit van gewassen (Binnendijk et al., 1993, Vissers et al., 1994). Wel moet men waakzaam zijn voor mogelijke ophoping op langere termijn (Rattan et al., 2005). In het effluent aanwezige pathogenen vormen wel een daadwerkelijk risico (Toze, 2006). Afhankelijk van de manier van irrigeren is er risico voor boeren, omwonenden en gewaskwaliteit. De risico's kunnen sterk terug worden gebracht door gericht en liefst ondergronds te irrigeren waardoor geen verspreiding via aerosolen plaatsvindt. Hoe langer de bodempassage, hoe meer verwijdering van pathogenen er optreedt en hoe lager het risico. Naast verspreiding van pathogenen is ook de verspreiding van antibiotica resistentiegenen mogelijk een risico (Schmitt et al, 2017). Het in de VS en Australië gebruikelijke chloreren is wel effectief tegen indicatoren voor pathogenen, maar niet tegen deze antibiotica resistentie genen. Hoewel bekend is dat chloor toxische effecten heeft op veel soorten organismen, is het niet duidelijk of hergebruik van gechloreerd restwater gevolgen heeft op mens of omgeving. Nader onderzoek naar de verspreiding en effecten van antibiotica resistentiegenen is gewenst.

Indien het irrigatiewater verspreid wordt in het grondwater, bestaan er ook risico's voor nabije drinkwaterwinningen. Het lokale hydrologische systeem is hierbij uiteraard van grote invloed op de eventuele blootstelling. Voor verdere inschatting van het risico is kennisgebrek eveneens een knelpunt, aangezien er onvoldoende bekend is over het gedrag van veel stoffen in de ondergrond.

Een andere toepassing van hergebruik van effluent is de toepassing als proceswater in allerlei industriële processen. Dit is een toepassing die nu nog mondjesmaat wordt toegepast, maar de verwachting is dat dit in de toekomst vaker zal gaan gebeuren, zeker bij processen waarbij minder strenge eisen aan het proceswater worden gesteld, zoals koelwater, en wanneer andere bronnen te duur (drinkwater) of schaars (grond- en oppervlaktewater) worden. Omdat proceswater toch een constante kwaliteit behoeft en in de meeste gevallen bodempassage zal ontbreken, zal bij de meeste toepassingen aanvullende zuivering nodig zijn.

Aangezien het hergebruik van restwater in de landbouw nog geen gemeengoed is in Nederland, bestaat er niet altijd duidelijkheid wat betreft de regels die mogelijk van toepassing zijn. Cirkel et al. (2017) hebben aspecten m.b.t. regelgeving op een rij gezet.

Door de wetgever wordt een onderscheid gemaakt tussen het gebruik van oppervlaktewater en effluent dat (direct) afkomstig is uit een inrichting, zoals een rwzi. Zo geeft **STOWA rapport 2015-35** handvatten voor een beoordeling van de risico's van het gebruik van systemen waarbij zoetwater (tijdelijk) in de bodem wordt geïnfilterd om dat later te gebruiken. Afhankelijk van de toepassing van het effluent, wordt een afweging gemaakt of het effluent gezien wordt als afval of als nieuwe grondstof. Daarnaast is de wijze van toediening (bovengronds, zoals beregenen of ondergronds, zoals subirrigatie) van belang.

In Nederland hebben we in meer of mindere mate te maken met de volgende wetten als het over hergebruik van gezuiverd restwater gaat:

- Waterwet
- Warenwet
- Wet hygiëne en veiligheid badinrichtingen en zwemgelegenheden
- Afvalstoffenwet – Productregelgeving – plicht tot vergunning/melding/registratie
- Activiteitenbesluit en Besluit lozingen buiten inrichtingen
- Drinkwaterwet
- Waterschapswet – zorgplicht zuivering stedelijk afvalwater, dienstbaar
- Wet Milieubeheer
- Meststoffenwet
- Omgevingswet

Op EU-niveau hebben we tenminste te maken met de volgende wetgeving:

- Kaderrichtlijn Water (2000/60/EG)
- Kaderrichtlijn Afvalstoffen (2008/98/EG)
- REACH Verordening (1907/2006) (voor chemische stoffen)
- Meststoffen Verordening (2003/2003/EG)

Beleid ten aanzien van (her)gebruik van restwater en gezuiverd afvalwater heeft te maken met de volgende relevante aspecten (WHO, 2006):

- Gezondheidsrisico voor mens, dier en milieu
- Watervoorziening onder droge omstandigheden
- Beschikbaarheid van restwater voor (her)gebruik in tijd en ruimte
- De acceptatie van restwater in de landbouw
- Soorten beschikbaar restwater voor (her)gebruik
- Benedenstroomse toepassing van restwater na lozing op oppervlaktewater
- Kwaliteit van geoogste producten in de landbouw na toepassing van restwater
- Manier van toepassing van restwater in de landbouw

Beleid ten aanzien van het gebruik van effluent hangt af van de urgentie van de bron van zoetwater in verband met schaarste, het vermogen van effluent om watertekorten op te vangen, het resultaat van een (maatschappelijke) kosten-baten-analyse en maatschappelijk draagvlak voor de oplossing die rwzi-effluent kan bieden. Aspecten die een rol spelen bij het draagvlak voor hergebruik van rwzi-effluent zijn (STOWA, 2001):

- Beleving
- Kennisniveau
- Motivatie
- Kosten en baten
- Techniek en afbreukrisico, inclusief een strategie voor acceptatie

Er is Europese Regelgeving in voorbereiding betreffende de minimum eisen die aan het hergebruik van effluent gesteld dienen te worden en door het Joint Research Centre (JRC) van de EU is recent ter ondersteuning hiervan een risico analyse gedaan. (**EU-level instruments on water reuse**). Rijkswaterstaat en de Provincies zijn in 2016 in Nederland door JRC en Europese Commissie geconsulteerd hierover.

Delft Blue Water (<http://delftbluewater.com>) is onderzocht of gezuiverd restwater verspreid kon worden onder tuinbouwbedrijven, maar deze optie bleek te kostbaar (mondelijke mededeling). Het oppervlaktewatersysteem (beken en sloten) kan ook gezien worden als transportmiddel voor effluent, hoewel men in de praktijk hier niet altijd van bewust is.

De baten van hergebruik van effluent zijn afhankelijk van de toepassing en de schaarste van geschikt water voor de betreffende toepassing. Zo is zeer zuiver water meer waardevol dan vervuild water, omdat het geschikt is voor meer hoogwaardige toepassingen. De schaarste van geschikt water hangt sterk af van de locatie en het seizoen. Op de hoge

zandgronden van Nederland is zoet water vooral in de zomer relatief schaars, door het optreden van droge periodes en een verhoogde watervraag van landbouw en natuur. In laag Nederland wordt schaarste vooral bepaald door verzilting van grond- en oppervlaktewater. Daarnaast kunnen maatschappelijke baten en milieuwinst worden meegerekend, bijvoorbeeld als men door hergebruik verontreiniging van het oppervlaktewater weet te verminderen. Hierbij dient dan tevens de afwenteling naar andere milieucompartimenten zoals de bodem, meegenomen worden.

In gebieden waar zoet water relatief schaars is, of waar noodzakelijke voorzieningen relatief goedkoop zijn (bijvoorbeeld een geschikte ondergrond voor opslag), kan het rendabel zijn om effluent te hergebruiken. Door schaarser wordend zoet water (bijvoorbeeld door klimaatverandering) en verbeterde technieken kan het zijn dat hergebruik van effluent voor steeds meer toepassingen voordelig blijkt uit te pakken. Per situatie zal echter uitgezocht moeten worden welke kosten en baten van toepassing zijn.

In het project 'Landbouw op peil' (<https://landbouwoppeil.nl/>), worden schattingen van de kosten en baten van enkele maatregelen uiteengezet, waaronder die van extra wateraanvoer, wat zou kunnen bestaan uit restwater. De investeringskosten van extra wateraanvoer worden geschat op €1500 tot € 5000 per hectare landbouwgrond, waar arbeidskosten voor het waterschap bij komt. Men verwacht dat een dergelijke maatregel 5 tot 20% extra gewasopbrengst kan opleveren.

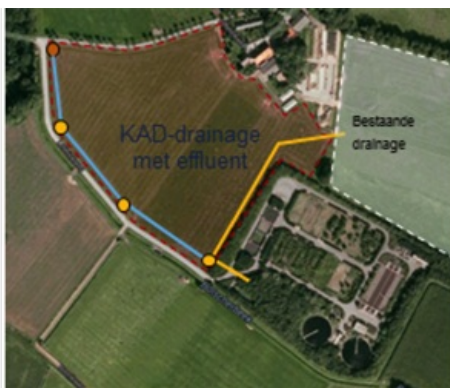
## PRAKTIJKERVARING EN LOPEND ONDERZOEK

Onderstaande tekst is grotendeels ontleend aan Cirkel et al. (2017).

### Nationaal

#### Haaksbergen

In Haaksbergen is door waterschap Vechtstromen een praktijkproef opgezet om de effecten van *sub-irrigatie* met rwzi-effluent te onderzoeken (Figuur 3). Bij rwzi Haaksbergen wordt een deel van de effluentstroom ingebracht in het Klimaat Adaptieve Drainagesysteem (KAD) van een aangrenzend akkerbouwperceel. Via het KAD-systeem wordt het water ondergronds geïnfilterd, waardoor de grondwaterstand en het bodemvochtgehalte op peil blijven of verhoogd worden. De agrariër kan zo met het KAD-systeem het vochtregime in zijn akker actief beheren voor optimale gewasproductie, zonder aanvullende beregening. Ongeveer 3% van het totaal beschikbare effluent van rwzi Haaksbergen wordt op deze manier hergebruikt. De sub-irrigatie zorgt voor een dusdanige verhoging van de grondwaterstand dat droogtestress bij het gewas is voorkomen zonder aanvullende beregening. Speciale aandacht is er voor de verspreiding in de bodem van resten van geneesmiddelen uit het geïnfilterde effluent. Eerste resultaten indiceren dat een groot aantal geneesmiddelen effectief wordt verwijderd in het grondwater boven de drains, met uitzondering van een aantal mobiele en persistente stoffen. De monitoring is in 2016 uitgebreid naar een groter aantal locaties en te meten stoffen. Ook wordt in meer detail de grondwaterstroming vanuit het perceel onderzocht om in kaart te brengen in hoeverre het effluent zich verspreidt in het (diepere) grondwater (Bartholomeus et al. 2016a; Bartholomeus et al. 2016b).



**Figuur 3. Proefperceel voor subirrigatie met rwzi-effluent te Haaksbergen.**

#### Bavaria

In het kader van het Boer Bier Water ([www.boerbierwater.nl](http://www.boerbierwater.nl)) initiatief wordt gewerkt aan hergebruik van gezuiverd proceswater voor de landbouwwatervoorziening in de omgeving van de Bavaria brouwerij in Lieshout. De Bavaria brouwerij onttrekt jaarlijks ca. 2.5 miljoen m<sup>3</sup> grondwater en lost hiervan ca. 1.5 miljoen m<sup>3</sup> op de Goorloop, waardoor het versneld het gebied verlaat. Tegelijkertijd maken agrariërs in de omgeving op grote schaal gebruik van grondwater voor de beregening van gewassen. Door het restwater van Bavaria te hergebruiken voor de regionale landbouwwatervoorziening, vermindert de beregeningsbehoefte uit grondwater en wordt water teruggebracht in het regionale grondwatersysteem. Hierdoor wordt verdroging teruggedrongen en wordt het watersysteem robuuster voor perioden van droogte (<https://www.kwrwater.nl/actueel/eerste-resultaten-boer-bier-water-hoopvol/>).

In het eerste, relatief natte jaar (2016) is ca. 28.000 m<sup>3</sup> gezuiverd restwater aangevoerd. De kosten voor de aanleg van het peilgestuurde drainagesysteem bedragen 2.500 €/ha. Uitgaande van een afschrijvingsperiode van 25 jaar gaat het hiermee om 100 € per jaar. Met de uitgevoerde en beoogde maatregelen, wordt naar schatting 0.25-0.5 miljoen m<sup>3</sup> restwater van Bavaria hergebruikt voor de lokale landbouwwatervoorziening. Deze hoeveelheid water hoeft dus niet door agrariërs onttrokken te worden uit het grondwater, wat verdergaande verdroging beperkt. Tevens besparen agrariërs op energiekosten voor het onttrekken van grondwater voor irrigatie. Gaandeweg kan een steeds groter deel van het restwater van Bavaria worden benut. Cruciaal hierbij is de functie van het kanaal als buffer en transportmedium. Op deze

manier kan in ieder geval in het voorjaar en het groeiseizoen al het restwater van Bavaria worden benut.

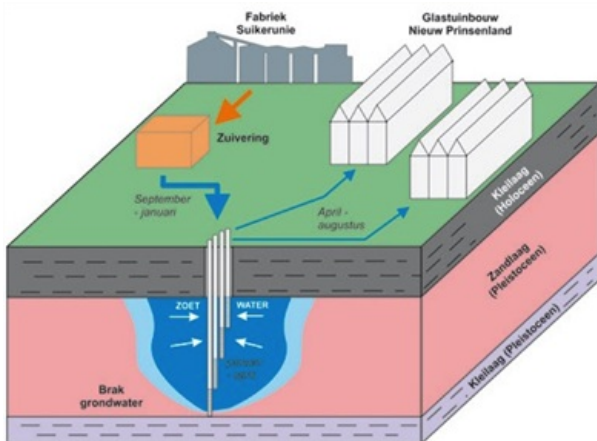


**Figuur 4. Bavaria Lieshout, hergebruik van gezuiverd restwater van de brouwerij**

### Dinteloord

Voor de gietwatervoorziening van het nieuwe glastuinbouwgebied AFC Nieuw Prinsenland (Dinteloord) heeft men er voor gekozen gebruik te maken van wateraanbod uit de nabijgelegen suikerindustrie. Bij deze toepassing bleek het moment van wateraanbod (najaar-winter) niet overeen te komen met de timing van de watervraag (voorjaar-zomer). Op het terrein van Suiker Unie in Dinteloord is daarom een gietwaterfabriek gebouwd. Hierin wordt gezuiverd proceswater van de suikerfabriek opgewerkt tot gietwater voor de glastuinbouw in Nieuw Prinsenland. De opwerking geschiedt middels omgekeerde osmose (RO), wat een extreem goede (gedemineraliseerde) kwaliteit oplevert, die vervolgens goed te infiltreren valt in een zoete aquifer.

De glastuinbouwbedrijven kunnen ongeveer 85% van hun waterbehoefte afdekken met regenwater. De resterende 15% komt van de gietwaterinstallatie. In de nieuwe fabriek wordt naar verwachting jaarlijks 270.000 m<sup>3</sup> gezuiverd effluent van de suikerfabriek omgezet naar 200.000 m<sup>3</sup> gietwater voor de glastuinbouw. Ook kan dit water indien nodig worden ingezet als proceswater in de suikerfabriek. Hoogwaardig gietwater kan alleen geproduceerd worden als de zuivering van de nabijgelegen suikerfabriek in werking is (september tot januari). De watervraag van de glastuinbouw concentreert zich echter in het voorjaar en de zomer. Om toch het hele jaar te kunnen voorzien in gietwater, is een systeem voor ondergrondse wateropslag (Aquifer Storage & Recovery) aangelegd (Figuur 5) (<https://www.kwrwater.nl/projecten/effluent-reuse-tom-dinteloord/>, Zuurbier & Ros, 2016).



**Figuur 5. Vergaande zuivering van Suikerunie effluent tot gietwater en tijdelijke opslag in de ondergrond bij glastuinbouwgebied Nieuw Prinsenland (Zuurbier en Ros 2016).**

### DOW

In 2007 heeft DOW het project 'Hergebruik huishoudelijk afvalwater Terneuzen' gestart, in samenwerking met waterbedrijf Evides, de gemeente Terneuzen en het Waterschap Scheldestromen. Hierdoor kan Dow het afvalwater van de gemeente Terneuzen hergebruiken. Het afvalwater wordt door de rwzi opgewerkt tot water dat van voldoende kwaliteit is voor industriële processen. Dit water wordt door Dow's eigen biologische waterzuivering verder opgewerkt tot koelwater. Naast de waterbesparing door het hergebruiken, bespaart deze methode veel energie en chemicaliën ten opzichte van het opwerken van zout water uit de Westerschelde, of het gebruik van drinkwater uit de regio (<http://www.dowduurzaam.nl/initiatief/hergebruik-huishoudelijk-afvalwater-terneuzen>). In het in 2016 gestarte STW project Water Nexus zal de komende jaren verder onderzocht worden hoe het watergebruik van de industrie, landbouw, stedelijke gebieden en natuurgebieden beter op elkaar afgestemd kunnen worden.

### Internationaal

In internationale context zijn veel voorbeelden beschikbaar waarin effluent wordt hergebruikt. Hierbij moet een onderscheid gemaakt worden tussen aride klimaten, waarin men van oudsher is aangewezen op hergebruik voor bijvoorbeeld landbouw, en vochtigere klimaten waarbij de toepassing oorspronkelijk vaak gericht was op verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit. In deze Deltafact zijn voorbeelden uit de vochtigere klimaten nader uitgewerkt en worden tot slot kort ook enkele voorbeelden in aride gebieden aangetipt.

### Effluent hergebruik voor landbouwirrigatie in Nedersaksen (Duitsland)



De twee meest prominente voorbeelden van rwzi-effluent hergebruik voor landbouwirrigatie bevinden zich in Braunschweig en Wolfsburg in Nedersaksen. Deze regio kenmerkt zich door een relatief onvruchtbare, verdrogingsgevoelige zandige bodem. In de regio treedt in het groeiseizoen in de afgelopen decennia een neerslagtekort op. Dit tekort is echter niet constant maar neemt de afgelopen jaren toe. In Wolfsburg wordt jaarlijks 6 miljoen m<sup>3</sup> effluent ingezet voor irrigatie van 1500 ha landbouwgrond en ('s winters) 1.8 miljoen m<sup>3</sup> effluent ingezet voor het aanvullen van grondwater via een infiltratiesysteem (Remy & Lesjean, 2012). In Braunschweig wordt 3000 ha landbouwgrond geïrrigeerd met 15 miljoen m<sup>3</sup> effluent per jaar en vindt grondwateraanvulling via een infiltratiesysteem plaats met 6 miljoen m<sup>3</sup> per jaar.

### **Effluent hergebruik in Frankrijk**

Van grootschalige waterschaarste is in Frankrijk geen sprake. Alleen op kusteilanden langs de Mediterrane en Atlantische kust treden significante watertekorten op. Op deze plekken vindt kleinschalig hergebruik van effluent plaats. Belangrijk argument daarbij is tevens het effect op de waterkwaliteit van het zeewater rond de badplaatsen. Grootschalig hergebruik is in Frankrijk echter zeer beperkt. Het grootste systeem in Frankrijk is de rioolwaterzuivering en effluentboerderij van Parijs. Dit uit de 19<sup>e</sup> eeuw daterende systeem is nog steeds in operatie en bevoeit ca. 2000 hectare, waarbij de irrigatievraag in de zomer kan oplopen tot 300.000 m<sup>3</sup>/d. Gezien de microbiologische risico's en de, door het langere tijd direct toepassen van onbehandeld rioolwater, hoge concentraties zware metalen in de bodem worden enkel nog industriële gewassen (die niet bestemd zijn voor consumptie) verbouwd. Het systeem wordt in werking gehouden om de waterkwaliteit van de Seine te kunnen garanderen (Védry et al., 2001).

Buiten Europa is veel meer ervaring met hergebruik van gezuiverd afvalwater voor irrigatie van land- en tuinbouwgewassen (<http://www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e0b.htm>). Ook de regelgeving rond hergebruik is in landen als de Verenigde Staten, Israël en Australië verder ontwikkeld. Hieronder wordt hergebruik in enkele landen buiten Europa besproken.

### **Monterey Wastewater Reclamation Study for Agriculture (MWRSA)**

In 1976 is gestart met een uitgebreide studie naar de mogelijkheden en risico's voor gebruik van effluent van de Castroville rwzi voor de irrigatie van voedingsgewassen, waaronder rauw gegeten groentes in Monterey County (Californië) (<http://www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e0b.htm>).

Deze regio is een voor de VS belangrijk productiegebied van artisjokken en andere gewassen. Om deze gewassen van water te voorzien is tot de jaren '80 van de vorige eeuw op grote schaal grondwater onttrokken wat resulteerde in sterke daling van grondwaterniveaus en zeewaterindringing waardoor pompputten onbruikbaar werden. Tegelijkertijd was uitbreiding van rioolwaterzuiveringscapaciteit noodzakelijk omdat de bestaande installaties in de regio hun maximale capaciteit bereikten. Op basis hiervan is gestart met een praktijkproef waarbij de veiligheid en haalbaarheid van hergebruik van rwzi-effluent zijn onderzocht.

Op basis van de studieresultaten bleek dat hergebruik van secundair behandeld effluent met tertiaire nabehandeling (coagulatie, flocculatie, sedimentatie, filtratie en chloordosering) veilig was om te gebruiken voor voedingsgewassen. Op de gewassen zijn geen pathogene virussen aangetroffen en de niveaus van natuurlijk aanwezige bacteriën waren niet hoger dan bij de gewassen die met grondwater zijn geïrrigeerd. De concentraties zware metalen in de grond lieten geen verschillen zien tussen de twee effluenttypes en grondwater en leken vooral bepaald door de bemesting.

### **Waterconserv II project, Orlando/Orange county Florida**

Waterconserv II is een van de grootste waterhergebruik projecten in de wereld, waarbij vergaand gezuiverd rioolwater van de stad Orlando en Orange County wordt ingezet voor directe irrigatie (citrusplantages, golfbanen en tuinen) en voor kunstmatige aanvulling van de Florida aquifer (<http://www.waterconservii.com/>). In de jaren '80 van de vorige eeuw bleek uitbreiding van de rioolwaterzuiveringen noodzakelijk, tegelijkertijd moest de invloed van effluent op het oppervlaktewater worden teruggedrongen en werden grote hoeveelheden water onttrokken voor o.a. irrigatie van citrusplantages. Om deze reden zijn de stad Orlando en Orange County in 1986 een samenwerking aangegaan met de agrarische gemeenschap in de regio. In eerste instantie was er veel weerstand bij de bevolking waardoor uitgebreide studies noodzakelijk waren om de voordelen en veiligheid van hergebruik van rwzi-effluent voor irrigatie aan te tonen. Uiteindelijk is met een initiële investering van \$180 miljoen het Waterconserv II systeem aangelegd. Het Waterconserv II systeem wordt gevoed door twee rwzi's: de Orange County South regionale Water Reclamation facility en de City of Orlando McLeod Road Water Reclamation Facility. Gemiddeld leveren beide installaties tussen 114.000 en 132.000 m<sup>3</sup>/d aan het systeem. De zuiveringstechniek van beide systemen is identiek en bestaat uit: zeven, primaire sedimentatie, actief slib met aeratie, secundaire clarificatie. Vervolgens wordt het effluent gefiltreerd met snelle zandfilters en gechlloreerd. Het effluent is geschikt voor irrigatie van gewassen bedoeld voor humane consumptie en voldoet aan de eisen gesteld door Florida Department of Environmental Protection.

### **Voorbeelden van hergebruik in aride gebieden**

In Algerije wordt in een pilot gekeken of de irrigatie van tomaten en komkommer met tertiair behandeld afvalwater mogelijk is ([project WAWARIA](#)). In Egypte zijn de sociaal-economische mogelijkheden om afvalwater te zuiveren voor hergebruik als irrigatiewater gering. Er wordt in pilot in de provincie Minya ([Harmsen et al, 2014](#)) uitgezocht of partiële zuivering met inzet van wetlands een haalbaar alternatief is. In Colombia investeert de koffiesector in eenvoudige technologieën om het proceswater te reinigen en te hergebruiken bij de winning van de koffiebonen in het [programma Manos al Agua](#) ('handen aan het water').

## **KENNISLEEMTES**

### **Risico's en verspreiding van stoffen**

Rwzi effluent bevat over het algemeen veel microverontreinigingen, pathogenen en antibioticaresistente genen, welk door het hergebruik van effluent in bodem kunnen ophopen en verspreiden. Het gedrag van deze parameters in bodem en in

mindere mate water is vaak nog onbekend. Aanbevolen wordt om nader experimenteel onderzoek te doen naar stof-, virus- gen- en bacterietransport in relevante bodemsystemen, en de mogelijke risico's van deze stoffen via aanvullende modellering in kaart te brengen. Hierbij is het belangrijk om de regionale verschillen in risico's mee te nemen (bijvoorbeeld West Nederland t.o.v. Hoog Nederland). Verder is een analyse nodig van de verschillende types van toediening effluent voor irrigatie (ondergronds vs. bovengronds). Een aanvullend risico is blootstelling aan deze parameters via irrigatie op voedsel. Ook over het mogelijke risico via deze route is nog weinig bekend.

### Betere benutting van effluent

Om tot een nog betere hergebruik van effluent zijner nog een aantal kennis leemtes die vervuld moeten worden, zoals:

- Het ontbreken van een afwegingskader waarin de verschillende bronnen van water (grondwater, oppervlaktewater, drinkwater, effluent) en de verschillende toepassingsmogelijkheden (landbouw, industrie) en de daarmee gepaard gaande kosten en baten tegenover elkaar afgewogen kunnen worden.
- Het ontbreken van een uniform beleidsmatig afwegingskader om tot het hergebruik van effluent over te gaan. Op dit moment wordt dit case by case gedaan.
- Regionale analyse waterhergebruik (kosten, baten, m<sup>3</sup>), analyse van de kansen en risico's betreffende hergebruik van industrieel vs. communaal effluent, inpassing waterhergebruik in het beleid, en publieke perceptie en communicatie rondom waterhergebruik.
- Kunnen er efficiëntere bergingstechnieken ontwikkeld worden, zodat de mismatch in tijd tussen vraag en aanbod geoptimaliseerd kan worden?
- Hoe kan de rwzi kwaliteit zo efficiënt mogelijk verder verbeterd worden, zodat deze kwaliteit zodanig wordt, dat grootschalige toepassingen verder in beeld komen?

### Perspectief: kansen en risico's

- Verbeterde zuiveringsmogelijkheden, waarbij ook aandacht moet zijn voor het ontstaan van nieuwe reststromen zoals het concentraat na Reversed Osmose (RO).

Inzicht in de kansen en risico's van hergebruik van effluentstromen ('recycled water') voor de zoetwatervoorziening. Het inzetten van gezuiverd restwater van industrieën en rwzi's voor droogtebestrijding is in Nederland een nog weinig toegepaste, maar opkomende vorm van (klimaat)adaptatie om te anticiperen op toenemende watertekorten in de landbouw. De ideeën bestaan al wel langer maar praktijktoepassingen waren er tot voor kort niet. De kwaliteit van in te zetten restwater is een uitermate belangrijk aandachtspunt voor het ecosysteem, het ontvangende grondwatercompartiment en het doel waarvoor het wordt ingezet (bruikbaarheid). Deze aandacht voor kwaliteit geldt zeker voor effluent van rwzi's, vanwege de aanwezigheid van diverse chemische en microbiële verontreinigingen.

## LITERATUUR/ LINKS

Bartholomeus, R. P., Van den Eertwegh, G. A. P. H., and Cirkel, D. G., 2016a, [Hergebruik restwater voor zoetwatervoorziening in het landelijk gebied: Monitoring sub-irrigatie met RWZI-effluent Haaksbergen](#). BTO 2016.050: KWR Watercycle Research Institute.

Bartholomeus, R. P., Worm, B., Oosterhuis, M., Eertwegh, G. A. P. H., and Raat, K., 2016b, [Restwater van de rioolwaterzuivering voor de landbouw?](#): H2O Water Matters, v. 1.

Binnendijk, N.C., P.J.T. van Bakel, W.A. van Vilsteren en H.W. Grobbe, 1993. Effluentboeren: technische realisatie en effecten van toediening van effluent aan het landelijk gebied. Tauw Civiel en Bouw bv, Deventer

Cirkel, D.G., van den Eertwegh, G.A.P.H., Stofberg, S.F. & Bartholomeus, R.P., 2017. [Kennisdokument Hergebruik van Restwater voor de Landbouwwatervoorziening](#). BTO 2017.009. KWR, Nieuwegein.  
<https://library.kwrwater.nl/publication/55133088/>

Kuijper, M. J. M., Hendriks, D. M. D., Dongen, R. J. J. v., Hommes, S., Waaijenberg, J., and Worm, B., 2012, [Sturen op Basisafvoer](#). Deltares.

Lesjean, B. & Remy, C. (2012) "[Optimisation of energy and nutrient recovery in wastewater treatment schemes – Executive Summary of Project CoDiGreen](#)", Kompetenzzentrum Wasser Berlin GmbH

Liefting, E., H. De Man (2017) [EmissieRegistratie Afvalwaterketen. Achtergrondrapport bij de in 2017 geactualiseerde factsheet 'Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's'](#). Rapportnummer Deltares02\_R\_170615.

Rattan, R. K., Datta, S. P., Chhonkar, P. K., Suribabu, K., & Singh, A. K. (2005). [Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater—a case study](#). Agriculture, Ecosystems & Environment, 109(3), 310–322. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.02.025>

Remy, C. Siemers C. Lesjean, B. (2012) [Assessing the Environmental Sustainability of Agricultural Reuse of WWTP Effluent and Biosolids in Braunschweig/Germany with Life Cycle Assessment](#). IWA World Congress on Water, Climate and Energy. Dublin, Ireland, 13-18 May

Schmitt H, Blaak H, Kemper M, van Passel MW, Hierink F, van Leuken J, de Roda Husman AM, van der Grinten E, Rutgers M, Schijven J, de Man H, Hoeksma P, Zuidema T (2017) [Bronnen van antibioticaresistentie in het milieu en mogelijke](#)

maatregelen. RIVM Rapport 2017-0058

Sharma, Saroj K., and Maria D. Kennedy, 2016. [Soil aquifer treatment for wastewater treatment and reuse](#). International Biodeterioration & Biodegradation. Available online 8 October 2016

STOWA, 1996. [Hergebruik van gezuiverd afvalwater ten behoeve van verdrogingsbestrijding](#). STOWA rapport (24) 1996.

STOWA, 2001. [Compendium rwzi-effluent als bron voor ander water](#). STOWA rapport (14) 2001.

Ternes, T. A., Bonerz, M., Herrmann, N., Teiser, B., & Andersen, H. R. (2007). [Irrigation of treated wastewater in Braunschweig, Germany: an option to remove pharmaceuticals and musk fragrances](#). Chemosphere, 66(5), 894-904.

Toze, S., 2006, [Reuse of effluent water - Benefits and risks: Agricultural Water Management](#), v. 80, p. 147-159.

Van Lohuizen (2006) [Afwalwaterzuivering in Nederland. Van beerput tot oxidatiesloot](#). RWS RIZA rapport 2006.011, Lelystad

Védry, B., Gousailles, M., Affholder, M., Lefaux, A. and Bontoux, J. (2001). From sewage water treatment to wastewater reuse. One century of Paris sewage farms history. Wat. Sci. Tech. 43(10), 101-107.

Vissers, J., Bakel, P. V., Oldenkamp, A., Plicht, J., & Verhoeven, S. (1994) Effluentboeren: een voorbeeldplan vierde nota. Werkdocument IKC-N (nr. 44, 56) Wageningen

WHO, 2006. [Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2. Waste Water Use in Agriculture](#). World Health Organization.

Zuurbier, K., & Ros, S. (2016). Aquifer storage and recovery van gezuiverd effluent Nieuw Prinsenland (Dinteloord) KWR 2016.117. KWR, Nieuwegein. [https://www.kwrwater.nl/wp-content/uploads/2016/05/TKI\\_ASR\\_Effluent\\_Reuse\\_NPrinsenland.pdf](https://www.kwrwater.nl/wp-content/uploads/2016/05/TKI_ASR_Effluent_Reuse_NPrinsenland.pdf)

[Deze Deltafact is opgesteld door Deltares, KWR en Wageningen Environmental Research november 2017.](#)

Auteurs: Erwin Roex (Deltares), Sija Stofberg, Gijsbert Cirkel en Ruud Bartholomeus (KWR)