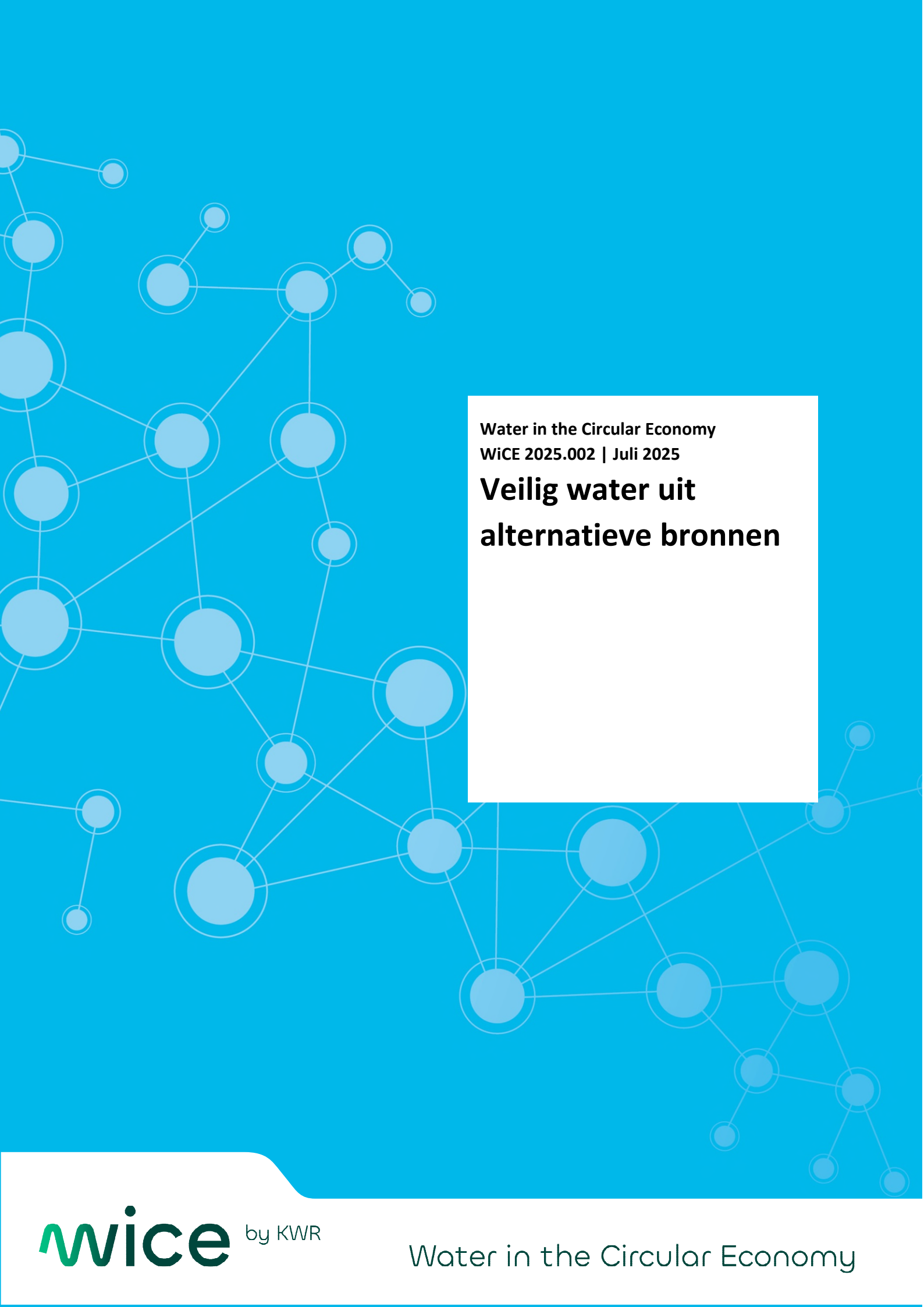




Water in the Circular Economy
WiCE 2025.002 | Juli 2025

Veilig water uit alternatieve bronnen



Water in the Circular Economy

Colofon

Veilig water uit alternatieve bronnen

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van WiCE, het collectieve onderzoeksprogramma van KWR, de waterbedrijven, Vewin en hun partners in de circulaire economie.

WiCE 2025.002 | Juli 2025

Projectnummer

404765

Projectmanager

Julian Munoz Sierra

Opdrachtgever

WiCE

Auteurs

Roberta Hofman-Caris, Patrick Smeets

Kwaliteitsborgers

Emile Cornelissen, Milou Dingemans, Paul van der Wielen, Ruud Bartholomeus, Henk-Jan van Alphen

Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder deelnemers aan het WiCE-programma, en andere geïnteresseerden.

Openbaarheid

Dit rapport is openbaar.

Keywords

decentrale zuivering, grijswater, zwartwater, regenwater, opvangsystemen, huishoudwater, hergebruik

Jaar van publicatie
2025

Meer informatie
dr. ir. Roberta Hofman-Caris
T +31 30 606 9673
E roberta.hofman-caris@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

Juli 2025 ©

Alle rechten voorbehouden aan de WiCE-deelnemers. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden veeleelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Samenvatting

Veilig water uit alternatieve bronnen: implementatie decentrale zuiveringen vraagt om goede afweging

Auteurs Roberta Hofman-Caris, Patrick Smeets



Aanleiding: watertekorten

Steeds vaker hebben drinkwaterbedrijven en andere spelers in de watersector te kampen met tekorten aan traditionele waterbronnen als oppervlakte- en grondwater. Door gebruik te maken van lokale bronnen, zoals opgevangen regenwater of grijswater voor de productie van bijvoorbeeld huishoudwater, zou het drinkwaterverbruik verlaagd kunnen worden. Bovendien leeft, breed in de maatschappij, het beeld dat het gebruik van alternatieve bronnen goedkoper is en beter voor het milieu. Er gaan stemmen op om dergelijke maatregelen bij nieuwbouw verplicht te stellen.

Om een goede afweging te kunnen maken, is er behoefte aan een overzicht van een aantal mogelijkheden die er zijn voor het gebruik van alternatieve bronnen (regenwater, grijswater, zwartwater) en het gebruik van andere kwaliteiten van water dan drinkwater in de (woon)omgeving. Wat zijn de kansen en voordelen, maar ook de risico's van een dergelijke nieuwe inrichting van de watercyclus in onze leefomgeving, en hoe kunnen die risico's worden geminimaliseerd?

Aanpak: literatuuronderzoek en interviews met leveranciers en beheerders van pilotinstallaties

In dit onderzoek is een literatuurstudie uitgevoerd naar wat er over decentrale bronnen en zuiveringen bekend is in de nationale en internationale literatuur. Verder zijn diverse decentrale zuiveringspilots bezocht, of zijn betrokkenen (beheerders en leveranciers) geïnterviewd. Het gaat daarbij om de ervaringen met regenwateropvangsystemen in Vlaanderen, de installaties van Mijn Waterfabriek, de watervoorziening bij een tiny house en op het eiland Pampus, het gebruik van afvalwater van een camping voor de landbouw in Zeeland en de

casussen Oosterwold en Superlocal. Dit zijn zowel systemen voor individuele woningen als systemen voor op iets grotere schaal ('wijkschaal').

Resultaten: Kleinschalige systemen hebben enkele voordelen maar ook veel nadelen in vergelijking met een centraal drinkwaterleidingnet

Het gebruik van alternatieve bronnen en lokale zuiveringen kan leiden tot een lager kraanwatergebruik, en mogelijk voor een betere balans zorgen in de lokale watercyclus. . Bovendien kan op deze manier lokaal water worden gemaakt voor allerlei toepassingen op plekken waar geen waterleiding beschikbaar is, zoals op een eiland. De toepassing van kleinschalige systemen lijkt ook te leiden tot meer waterbewustzijn onder de bevolking, wat *de facto* resulteert in een lager watergebruik. Naast deze voordelen zijn er ook diverse nadelen van kleinschalige systemen. De meest eenvoudige opvangsystemen zijn per kubieke meter water naar schatting tien keer duurder dan regulier Nederlands kraanwater, en de berekende milieu-impact vier keer hoger. Als ook een zuiveringsstap wordt toegepast, nemen de kosten en de milieu-impact verder toe. Daarnaast brengen dergelijke watersystemen gezondheidsrisico's met zich mee als er gebrekkig onderhoud wordt gepleegd en er abusievelijke kruisverbindingen zijn gemaakt waardoor verontreinigingen in het systeem komen. Uiteraard zijn er ook risico's verbonden aan de aanleg en het onderhoud van grootschalige systemen, maar hier gaat het om veel minder aansluitingen, en zijn aanleg en onderhoud in beheer van instanties die zich heel bewust zijn van de risico's. De gezondheidsrisico's voor gebruikers van kleinschalige systemen (en hun medebewoners) kunnen ook relevant zijn voor een hele straat of wijk als het drinkwaternet wordt verontreinigd, zeker als het gaat om ziekteverwekkende verontreinigingen. Systemen met een uitgebreidere zuivering kunnen die risico's aanzienlijk beperken.

Problemen kunnen worden verkleind door de systemen op iets grotere schaal (bijvoorbeeld wijkschaal) aan te leggen, en de verantwoordelijkheid voor onderhoud en werkzaamheden, aansluitingen en kwaliteitsmonitoring bij professionals neer te leggen.

Verlaging van het drinkwatergebruik gaat in de huidige individuele systemen gepaard met een toename in het piekgebruik, doordat in droge periodes de kleinschalige opvangsystemen aangevuld moeten worden met drinkwater. Dit heeft financiële nadelen voor het drinkwaterbedrijf, omdat de prijs die klanten betalen voor hun drinkwater vooral uit variabele kosten bestaat, terwijl de kosten voor de drinkwaterbedrijven voornamelijk vaste kosten zijn.

Dit alles laat echter onverlet dat decentrale wateropvang- en behandelingssystemen volop in ontwikkeling zijn, en een goede bijdrage kunnen leveren in die gevallen waarin geen centraal drinkwaterleidingnet aanwezig is, of er een discrepantie is tussen vraag en aanbod van water. Wel moet hierbij een goed risicomanagementplan worden opgesteld, waarbij duidelijk is wat er nodig is voor een veilige bedrijfsvoering en onderhoud, en wie hiervoor verantwoordelijk is. Vanwege deze voorwaarden, kosten en milieu-impact is het waarschijnlijk beter dergelijke systemen niet voor een individuele woning maar voor een aantal woningen gezamenlijk aan te leggen.

Vervolg: Alle aspecten afwegen bij toepassing van lokale bronnen

Bij implementatie van decentrale systemen is het van groot belang alle aspecten (technische aandachtspunten, kosten, milieu-impact en veiligheidsrisico's) in kaart te brengen en af te wegen. Om risico's van decentrale zuiveringen te beperken is het noodzakelijk dat de waterkwaliteit voldoende kan worden gevolgd door middel van (nog te ontwikkelen) sensoren. Daarnaast is het van groot belang dat mensen op de hoogte zijn van de noodzaak om de systemen goed aan te leggen en te onderhouden, en dat ze zich bewust zijn van de risico's van niet optimaal functionerende systemen, voor henzelf en voor hun omgeving. Het moet duidelijk zijn wie verantwoordelijk is voor het langdurig onderhoud. Dit vraagt om goede voorlichtingscampagnes bij de implementatie van dergelijke systemen.

Summary

Safe water from alternative sources: implementation of decentralised purification requires careful consideration

Authors Roberta Hofman-Caris, Patrick Smeets



Context: water shortages

Drinking water companies and other players in the water sector are increasingly faced with shortages of traditional water sources such as surface water and groundwater. By using local sources, such as collected rainwater or greywater for the production of household water, for example, drinking water consumption could be reduced. Furthermore, there is a widespread perception in society that using alternative sources is cheaper and better for the environment. There are calls to make such measures mandatory for new construction.

In order to make a good assessment, an overview of a number of possibilities for the use of alternative sources (rainwater, greywater, blackwater) and the use of other qualities of water than drinking water in the (residential) environment is needed. What are the opportunities and advantages, but also the risks of such a new design of the water cycle in our living environment, and how can these risks be minimized?

Results: Small-scale systems have some advantages but many disadvantages

The use of alternative sources and local purification can lead to lower tap water use and ensure a better water balance (for example, when wastewater and rainwater from a campsite are used in agriculture, during a period with high water demand). In addition, this way, water can be produced locally for all kinds of applications in places where no water supply network is available, such as on an island. The use of small-scale systems also seems to lead to more water awareness among the population, which in fact results in lower water use. In addition to these

advantages, there are also several disadvantages of small-scale systems. The simplest collection systems are estimated to be ten times more expensive per cubic meter of water than regular Dutch tap water, and the calculated environmental impact is four times higher. If a purification step is also applied, the costs and environmental impact increase further. In addition, such water systems pose health risks if maintenance is inadequate and if by mistake cross-connections are made, causing contamination of the system. Of course, there are also risks associated with the installation and maintenance of large-scale systems, but this involves far fewer connections, and installation and maintenance are managed by agencies that are very aware of the risks. These health risks for users of small-scale systems (and their fellow residents) can also be relevant for the entire street or neighborhood if the drinking water network is contaminated, especially if it involves pathogenic contamination. Systems with more extensive purification can significantly limit these risks.

Such problems can be reduced by installing the systems on a slightly larger scale (for example, neighborhood scale) and making professionals responsible for maintenance and work, connections and quality. In the current individual systems, a reduction in drinking water consumption is accompanied by an increase in peak consumption, because the small-scale collection systems have to be supplemented with drinking water during dry periods. This has financial disadvantages for the drinking water company, because the price that customers pay for their drinking water mainly consists of variable costs, while the costs for the drinking water companies are mainly fixed costs.

However, all this does not alter the fact that decentralized water collection and treatment systems are in full development, and can make a good contribution in cases where there is no central drinking water supply network, or where there is a discrepancy between supply and demand of water. However, a good risk management plan must be drawn up, in which it is clear what is needed for safe operation and maintenance, and who is responsible for this. Because of these conditions, costs and environmental impact, it probably will be beneficial to install such systems not for an individual home, but for a number of homes together.

Follow-up: Weighing all aspects when applying local resources

When implementing decentralized systems, it is essential to map out and weigh up all aspects (technical considerations, costs, environmental impact and safety risks). In order to limit the risks of decentralized purification, it is essential that the water quality can be sufficiently monitored by means of sensors, which however still need to be developed. In addition, it is essential that people are aware of the need for proper installation and maintenance of the systems, and that they are aware of the risks of sub-optimally functioning systems, for themselves and for their environment. It must be clear who is responsible for long-term maintenance. This requires good information campaigns when implementing such systems.

Inhoud

Colofon	2
Samenvatting	3
Veilig water uit alternatieve bronnen: implementatie decentrale zuiveringen vraagt om goede afweging	3
Summary	5
Safe water from alternative sources: implementation of decentralised purification requires careful consideration	5
Inhoud	7
1 Aanleiding	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Doel van het rapport en gevolgde werkwijze	9
1.3 Leeswijzer	10
2 Aanpak	11
2.1 Algemeen	11
2.2 Decentrale systemen in de Nederlandse en Vlaamse praktijk	11
2.2.1 Bezochte pilots	11
2.2.2 Interviews en bijeenkomsten	12
2.3 Literatuuronderzoek	13
3 Wet- en regelgeving	14
3.1 Nederlandse wet- en regelgeving	14
3.2 Normen	15
4 Literatuuronderzoek naar decentrale zuiveringssystemen	17
4.1 Nederlandse en Vlaamse literatuur	17
4.2 Drinkwatergebruik in Nederland en Vlaanderen	18
4.3 Internationale literatuur over decentrale zuiveringssystemen	20
4.3.1 Redenen om decentrale zuiveringssystemen aan te leggen	20
4.3.2 Aandachtspunten bij aanleg decentrale zuiveringssystemen	20

4.3.3	Milieu-impact van decentrale zuiveringen in de internationale literatuur	26
4.3.4	Controle van de werking van zuiveringssystemen c.q. waterkwaliteit	32
5	Decentrale systemen in de praktijk – bevindingen van pilots en interviews	35
5.1	Onderzochte systemen	35
5.2	Onderzochte aspecten	36
5.3	Bevindingen van de praktijkcases en interviews	36
5.3.1	Decentrale systemen	36
5.3.2	Continuïteit en kwaliteit van de bron	37
5.3.3	Gezondheidsrisico's en waterkwaliteitsmonitoring; microbiologische risico's	37
5.3.4	Blootstellingsrisico's	39
5.3.5	Gezondheidsrisico's en waterkwaliteitsmonitoring; chemische risico's	40
5.3.6	Onderhoud en bedrijfsvoering	41
5.3.7	Waarborgen van waterkwaliteit bij decentrale systemen	42
5.3.8	Consequenties van decentraal hergebruik voor het centrale drinkwatersysteem	44
5.3.9	Kosten	44
5.3.10	Duurzaamheid	45
6	Conclusies	47
7	Overwegingen voor vervolg	50
7.1	Aanbevelingen voor beleid en praktijk	50
7.2	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	52
8	Literatuur	53
I	Bijlage I: Praktijkcasussen	59
II	Relevante KWR publicaties	92
III	Relevante teksten uit de Drinkwaterwet (zie hoofdstuk 3.1)	94

1 Aanleiding

1.1 Achtergrond

Tekorten aan (kwalitatief goede) bronnen voor drinkwater leiden ertoe dat enerzijds de vraag wordt gesteld of voor alle toepassingen binnenshuis wel drinkwaterkwaliteit nodig is, en anderzijds of niet andere waterbronnen gebruikt kunnen worden, al dan niet met een decentrale zuivering. Dit leidt tot brede maatschappelijke en politieke discussies en de ontwikkeling van systemen voor het opvangen en toepassen van andere typen water (zoals huishoudwater) en decentrale zuiveringssystemen, die water tot een bepaalde kwaliteit kunnen zuiveren. Hierbij kan gedacht worden aan het gebruik van bijvoorbeeld regenwater en grijswater (en mogelijk zelfs zwartwater) om er drinkwater en huishoudwater, en eventueel andere typen water, van te maken. Dit onderzoek gaat in op het vraagstuk welk typen bronnen kunnen worden gebruikt voor het maken van verschillende kwaliteiten van water voor gebruik in en om het huis (drinkwater, 'huishoudwater', water om de tuin te sproeien, 'comfortwater', 'hygiënisch water'¹ enz.). Hierbij wordt ook aandacht gegeven aan de beschikbaarheid van het water, veiligheid, kosten, beheer en onderhoud van de installaties, en consequenties voor de drinkwaterbedrijven.

1.2 Doel van het rapport en gevolgde werkwijze

Met het in dit rapport beschreven onderzoek proberen we een overzicht te geven van een aantal mogelijkheden die er zijn voor het gebruik van alternatieve bronnen (regenwater, grijswater, zwartwater) en het gebruik van andere kwaliteiten van water dan drinkwater in de woonomgeving (huishoudwater en dergelijke). De nadruk in dit onderzoek ligt op de beschikbare behandelingstechnieken en zowel de chemische als de microbiologische samenstelling van het water. Wat zijn de kansen en voordelen, maar ook de risico's van een dergelijke nieuwe inrichting van de watercyclus in onze leefomgeving, en hoe kunnen die risico's worden geminimaliseerd? Daarnaast wordt gekeken naar de impact van dergelijke systemen op de drinkwatervoorziening en de drinkwaterbedrijven.

Er bestaan brede maatschappelijke en politieke discussies over het al dan niet inzetten op en ontwikkelen van systemen voor het opvangen en toepassen van andere alternatieve systemen in de woonomgeving. Ook tussen onderzoekers en adviseurs bestaan er verschillen in inzichten over de wenselijkheid en doelmatigheid van decentrale systemen. Om de besluitvorming over de wijze van inzetten van decentrale systemen te ondersteunen is het van belang dat er meer vanuit een gezamenlijke kennisbasis wordt gesproken en over de breedte van de thematiek. Dit onderzoek geeft daar mede invulling aan door een analyse van zowel een aantal praktijkcasussen als internationale literatuur. Het huidige onderzoek betreft echter slechts een eerste, beknopte inventarisatie van de mogelijkheden om op (relatief) kleine schaal water te behandelen.

Het onderzoek is in hoofdlijnen gebaseerd op pilots van decentrale systemen in de Nederlandse praktijk en Vlaamse praktijk met betrekking tot de opvang en het gebruik van regenwater. Deze zijn bezocht en betrokkenen zijn geïnterviewd. Daarnaast is een literatuuronderzoek uitgevoerd op basis waarvan een overzicht is gegeven internationale, Vlaamse en Nederlandse ervaringen op het gebied van decentrale opvang en behandeling van water. Op basis van de praktijkpilots en het literatuuronderzoek is een synthese opgesteld.

De informatie die op deze manier is verzameld kan worden gebruikt om een raamwerk op te zetten van voorwaarden en eisen waaraan een decentrale zuivering of bepaalde typen waterkwaliteit moeten voldoen, om een veilige toepassing mogelijk te maken.

¹ 'Comfortwater' en 'hygiënisch' water zijn namen die Mijn Waterfabriek hanteert voor water dat op verschillende manieren gezuiverd is.

1.3 Leeswijzer

De aanpak van het onderzoek is in meer detail beschreven in Hoofdstuk 2. Hierin worden ook kort de verschillende pilots en systemen beschreven die in dit onderzoek onder de loep zijn genomen.

In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de Nederlandse wet- en regelgeving met betrekking tot verschillende soorten water, en de normen die hiervoor zijn vastgelegd.

In Hoofdstuk 4 wordt de Nederlandse, Vlaamse en internationale literatuur op het gebied van decentrale systemen voor opvang en hergebruik besproken.

In hoofdstuk 5 wordt, op basis van de interviews in de praktijkcasussen en de literatuurstudie een beschouwing gegeven op de werking van de systemen, aan de hand van veiligheidsaspecten (gezondheid en blootstelling), onderhoudsaspecten, gevolgen voor drinkwatergebruik en -kwaliteit, kosten, en milieu-impact.

Hoofdstuk 6 en 7 bevatten respectievelijk de conclusies en overwegingen en aanbevelingen voor vervolg.

De interviews en bezoeken in Bijlage I zijn weergegeven zonder verder commentaar of beoordeling van de auteurs.

2 Aanpak

2.1 Algemeen

Het onderzoek dat in dit rapport wordt beschreven is in hoofdlijnen gebaseerd op zeven pilots van decentrale systemen in de Nederlandse en Vlaamse praktijk, die zijn bezocht en waarvoor interviews zijn uitgevoerd. Daarnaast is een literatuuronderzoek uitgevoerd op basis waarvan een overzicht is gegeven van internationale, Vlaamse en Nederlandse ervaringen op het gebied van decentrale opvang en behandeling van water. Op basis van de praktijkpilots en het literatuuronderzoek is een beschouwing opgesteld.

2.2 Decentrale systemen in de Nederlandse en Vlaamse praktijk

Voor het onderzoek zijn vijf pilots bezocht, zijn interviews gehouden met mensen die op verschillende manieren betrokken zijn bij decentrale opvang- en zuiveringssystemen in Nederland en Vlaanderen, en zijn enkele (online) bijeenkomsten over decentrale behandelingsinstallaties bijgewoond.

2.2.1 Bezochte pilots

In dit onderzoek zijn verschillende pilots en commerciële leveranciers van waterbehandelingssystemen bezocht en bevraagd. Een kort overzicht wordt hieronder gegeven. Voor een uitgebreid overzicht wordt verwezen naar Bijlage I.

- Regenwateropvangsystemen voor individuele woningen in Vlaanderen. Het is verplicht bij nieuwbouw of grote verbouwingen een dergelijk systeem te installeren. Regenwater wordt opgevangen, en met minimale zuivering gebruikt om bijvoorbeeld toiletten te spoelen of de was te doen.
- Mijn Waterfabriek levert kleinschalige zuiveringssystemen voor toepassing in individuele woningen. Er zijn verschillende systemen verkrijgbaar. 'Comfortwater' is opgevangen regenwater dat een beperkte zuivering ondergaat vóór toepassing als toiletspoeling, in de wasmachine of voor de buitenkraan. 'Hygiënisch water' wordt gedesinfecteerd, en is bedoeld om bijvoorbeeld mee te douchen, hoewel het officieel geen drinkwater is.
- Bewoners van een tiny house in Katwijk hebben hun eigen regenwatersysteem geïnstalleerd, waarbij met behulp van filters (o.a. actieve kool), UV-desinfectie en/of omgekeerde osmose van opgevangen regenwater 'drinkwater' voor eigen gebruik wordt gemaakt voor de gebruikelijke drinkwatertoepassingen.
- Het eiland Pampus is niet aangesloten op het centrale drinkwaternet, en wil graag zelfvoorzienend zijn. Water uit het IJmeer wordt gezuiverd met behulp van langzame zandfiltratie en nanofiltratie, waarna het met behulp van UV wordt gedesinfecteerd. Dit is officieel geen drinkwater, maar wordt wel beschreven als 'drinkbaar water'. Het wordt voor diverse toepassingen gebruikt, maar niet voor consumptie.
- In Zeeland wordt afvalwater van een camping gezuiverd met behulp van biologische processen, dissolved air flotation (DAF) en UV/H₂O₂ om organische microverontreinigingen af te breken. Dit water wordt vervolgens als irrigatiewater in de plaatselijke landbouw toegepast. Door lokaal water langer in de cyclus te houden, kan het watersysteem efficiënter worden benut.
- Superlocal is een grote pilot in de gemeente Kerkrade. Hier wordt zwartwater vergist om er biogas van te maken. Grijswater wordt met behulp van een helofytenfilter gezuiverd tot waswater dat kan worden gebruikt in een (centrale) wasserette of autowasstraat. Regenwater wordt centraal opgevangen en met

behulp van de volgende processtappen gezuiverd tot drinkwater: rooster, kaarsenfilters, UF-filters, UV/O₃, filtratie over granulaire actieve kool, marmersfiltratie. Het drinkwater kan uiteindelijk worden gesuppleerd aan de reguliere drinkwatertoevoer naar het gebied. Op dit moment wordt nog geëxperimenteerd met de zuivering en wordt er geen drinkwater of waswater geproduceerd.

- In de pilot Oosterwold konden bewoners kiezen voor een centrale afvalwaterzuivering of een individuele. Dit laatste bleek in de praktijk zoveel problemen op te leveren, dat besloten is om op wijksschaal een afvalwaterzuivering te bouwen. Die is najaar 2024 geopend.

De bezoeken hebben plaatsgevonden op de volgende data:

- regenwateropvang/drinkwaterzuivering bij Superlocal in Kerkrade: 17-07-2024
- Mijn Waterfabriek in Hardenberg: 26-08-2024
- tiny house in Katwijk: 08-08-2024
- opening afvalwaterzuivering Oosterwold: 9-9-2024
- eiland Pampus: 26-07-2024

Voor deze pilots is gekozen omdat ze een soort dwarsdoorsnede vormen van de verschillende decentrale systemen die al worden toegepast in Nederland en Vlaanderen.

2.2.2 Interviews en bijeenkomsten

De interviews waren gericht op verschillende typen pilots en hadden als doel om een aantal aspecten, die hieronder worden weergegeven, in kaart te brengen.

Los van de bezochte pilots zijn er interviews gehouden met:

- Evelyn de Meyer (projectmanager innovatie bij De Watergroep) (11-07-2024) over de Vlaamse praktijk van regenwateropvang
- Kaspar Groot Kormelink (R&D manager Van Remmen UV Techniek) (11-07-2024) over de zuivering van water uit het IJmeer voor gebruik op het eiland Pampus
- Ad de Man (Waterschap Limburg) (12-08-2024) over de behandeling van grijs- en zwartwater bij het Superlocal project in Kerkrade
- Keven van der Merlen (PureBlue) (05-07-2024) de zuivering van afvalwater van een camping voor gebruik in de landbouw

Zowel bij de bezoeken aan pilots als bij de interviews is de volgende vragenlijst gebruikt, die is samengesteld door de auteurs op basis van hun kennis en ervaring. Op deze manier is getracht een overzicht te krijgen van het functioneren van de verschillende systemen.

1. Welke partijen zijn bij het project betrokken?
2. Welke bron wordt gebruikt? Wat weet men over de kwaliteit van de bron? Wat weet men over fluctuaties in kwaliteit van de bron?
3. In het geval van regenwater: wat is bekend over het opvangmateriaal?
4. Hoe staat het met de continuïteit en beschikbaarheid van de bron?
5. Wat is de beoogde toepassing?
6. Welke kwaliteit is daarvoor nodig, en voldoet het systeem er (altijd) aan?
7. Welke zuiveringstechnieken worden toegepast?

8. Hoe is de geschiktheid van de bron getoetst? (welke parameters zijn beoordeeld)?
9. Hoe monitor je de zuivering in de tijd? (frequentie en parameters)?
10. Wat zijn de risicomomenten, hoe ga je om met dingen die misgaan?
11. Hoe is het onderhoud geregeld, en wie is daarvoor verantwoordelijk?
12. Welke voorlichting wordt er gegeven aan/is er nodig voor de gebruikers?
13. Wat was de motivatie achter dit project?

Naast de interviews zijn vijf bijeenkomsten over ontwikkelingen op het gebied van decentrale zuiveringssystemen bezocht:

- Waterinnovatiefestival, Utrecht (01-02-2024)
- Kennisdeeldag, Harderwijk (29-02-2024)
- Opening afvalwaterzuivering Oosterwold (9-9-2024)
- STOWA Platformbijeenkomst decentrale sanitatie, Ede (26-09-2024)
- Webinar Mijn Waterfabriek, woensdag (16-10-2024)

Op deze bijeenkomsten is door de auteurs geluisterd en deelgenomen aan de discussies.

2.3 Literatuuronderzoek

Er is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar internationale ervaringen met decentrale opvang en behandeling van water, en Nederlandse studies op dit gebied. Hierbij is gezocht naar literatuur over decentrale waterzuivering, regenwateropvang, grijswateropvang en -behandeling, en decentrale drinkwaterproductie.

3 Wet- en regelgeving

3.1 Nederlandse wet- en regelgeving

In de Nederlandse Drinkwaterwet is vastgelegd dat de drinkwaterbedrijven consumenten van voldoende en veilig drinkwater moeten voorzien. Dit drinkwater moet voldoen aan strenge regels, die zijn vastgelegd in het Drinkwaterbesluit. Vanuit het ILT Richtsnoer Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD) moeten drinkwaterbedrijven voor hun drinkwater de ‘schoonste beschikbare bron’ gebruiken, en daarom is er een algemene voorkeur voor het gebruik van grondwater. Als dat niet in voldoende mate of van voldoende kwaliteit beschikbaar is, kan de minister een ontheffing verlenen om andere bronnen, zoals oevergrondwater of oppervlaktewater, aan te wenden (artikel 16 van de Drinkwaterregeling), mits het drinkwaterbedrijf kan aantonen dat de zuiveringsprocessen adequaat zijn, en leiden tot een drinkwaterkwaliteit die aan alle eisen van de Drinkwaterwet (artikel 21, eerste lid) en het Drinkwaterbesluit (artikel 13) voldoet. In de laatste beleidsnota Drinkwater (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat 2020) is het volgende afgesproken: “Per regio dient steeds de keuze te worden gemaakt tussen grondwater, oppervlaktewater of een alternatieve bron. Bij de afweging spelen onder andere het perspectief op voldoende beschikbaarheid en goede kwaliteit in alle klimaatscenario’s, investeringen en kosten, en effecten op de omgeving een rol. Het Rijk laat deze afweging aan de regio en spreekt geen algemene voorkeur voor grondwater uit, zoals in de Beleidsnota Drinkwater 2014.”

Artikel 8.1 van de Drinkwaterwet verplicht drinkwaterbedrijven om: “binnen het voor zijn bedrijf vastgestelde distributiegebied, aan degene, die daarom verzoekt, een aanbod te doen om die persoon te voorzien van een aansluiting op het door hem beheerde leidingnet”. In artikel 32 wordt dit verder uitgewerkt in de volgende zorgplicht: “De eigenaar van een drinkwaterbedrijf draagt er zorg voor dat de levering van deugdelijk drinkwater aan consumenten en andere afnemers in het voor zijn drinkwaterbedrijf vastgestelde distributiegebied gewaarborgd is in een zodanige hoeveelheid en onder een zodanige druk als in het belang van de volksgezondheid vereist is”. Er wordt echter niet gespecificeerd hoeveel water vereist is voor de volksgezondheid en welke waterkwaliteit in relatie tot het gebruik.

In paragraaf 1.2 van het Drinkwaterbesluit wordt huishoudwater genoemd. Hierop is de Drinkwaterwet niet van toepassing, met uitzondering van de artikelen 1, 21, eerste lid en 31. Indien het huishoudwater door een drinkwaterbedrijf wordt geleverd, zijn de artikelen 8, derde lid, en 11, eerste lid, van de drinkwaterwet wel van toepassing. Bij ministeriële regeling worden in het belang van de volksgezondheid nadere eisen gesteld aan de productie, distributie en het gebruik van huishoudwater. Daarbij kan met het oog op dat belang onderscheid worden gemaakt tussen eigenaars van drinkwaterbedrijven, collectieve watervoorzieningen, collectieve leidingnetten of andere huishoudwatervoorzieningen (artikel 3 van het Drinkwaterbesluit). Conform artikel 4 van het Drinkwaterbesluit moet de eigenaar van een huishoudwatervoorziening ervoor zorgen dat een consument of andere afnemer van het huishoudwater dat water alleen gebruikt of kan gebruiken voor toiletspoeling. Uit veiligheidsoverwegingen is na de problemen met huishoudwater in de wijk Leidsche Rijn (Versteegh et al. 1997, Medema 1999, Oosterholt 2003, Oosterholt et al. 2003) besloten het gebruik van huishoudwater te beperken tot van daken opgevangen regenwater (eventueel aangevuld met grondwater of drinkwater). Ander water (bijvoorbeeld oppervlaktewater) kan alleen worden gebruikt wanneer de toezichthouder (Inspectie Leefomgeving en Transport, ILT) beoordeelt dat het gebruik ervan geen nadelige gevolgen heeft voor de gezondheid van de consumenten en hen toebehorende goederen. Huishoudwater mag alleen voor toiletspoeling en de tuin worden gebruikt.

Conform artikel 3.3 van de Drinkwaterregeling is het drinkwaterbedrijven niet toegestaan om zonder een daartoe door de Minister verleende ontheffing (conform artikel 3 van het Drinkwaterbesluit) huishoudwater te produceren voor consumenten of andere afnemers of aan hen huishoudwater te leveren.

3.2 Normen

Drinkwater moet in Nederland altijd voldoen aan de eisen vastgelegd in het Drinkwaterbesluit. Hierin zijn eisen opgenomen over (an)organische en microbiologische parameters en de frequentie van de analyses. Bij decentrale zuiveringen wordt regelmatig water geproduceerd dat qua samenstelling naar verwachting geen acute gezondheidsproblemen zal veroorzaken. Omdat het echter niet aan alle normen voldoet (bijvoorbeeld doordat de analysefrequentie te laag is), mag het dan geen drinkwater genoemd worden. In sommige gevallen wordt dan gesproken over 'drinkbaar water'. Voor de kwaliteit van huishoudwater (of andere typen, zoals comfortwater en hygiënisch water) bestaan geen normen.. Maximaal toelaatbare risico's waarop normen kunnen worden gebaseerd worden vastgesteld door (inter)nationale gezondheidsautoriteiten (WHO GDWQ en RIVM). De huidige wettelijke norm in Nederland is dat minder dan 1 op 10.000 mensen per jaar een besmetting met een fecale ziekteverwekker mag oplopen vanuit drinkwater en dat de aantallen *Legionella* in drinkwater lager dan 100 kve/l zijn. Voor andere toepassingen van water uit alternatieve bronnen zijn nog geen specifieke kwaliteitseisen beschikbaar.

In de NEN-normen en de waterwerkbladen waaraan Mijn Waterfabriek refereert (NEN 1006, ISSO 70 Handboek, Waterwerkbladen 1.4G, 3.8 en 4.7, en KIWA BRL-K14011), staat beschreven aan welke eisen een huishoudwaterinstallatie moet voldoen. Dit zijn de belangrijkste uitgangspunten :

1. Er wordt onderscheid gemaakt tussen individuele en collectieve watersystemen. Een individueel watersysteem heeft betrekking op een woninginstallatie (grondgebonden en gestapeld). Alle andere watersystemen worden als collectief systeem beschouwd. Bij individuele watersystemen mag huishoudwater (regenwater) gebruikt worden voor toiletspoeling, wassen van kleding en de buitenkraan. Zuivering wordt hierbij alleen voor esthetische aspecten toegepast (zoals het verwijderen van kleur). Bij collectieve watersystemen mag regenwater alleen voor toiletspoeling worden gebruikt. Irrigatie van groenvoorzieningen mag ook, maar dan zonder versproeiing (bijvoorbeeld met druppelslangen). De reden hiervoor is dat zo risico's voor de volksgezondheid kunnen worden voorkomen, als een kraan met regenwater voor verkeerde toepassingen wordt gebruikt. Thuis is versproeien van regenwater niet verboden.
2. Watergebruik voor productiedoeleinden, industriewater, valt onder de Arbowet. Hier ligt de nadruk op het voorkomen van onveilige situaties zoals besmettingen door *Legionella* in aerosolen bij verneveling van regenwater.
3. Voor drink- en huishoudwater zijn aparte en goed te herkennen drukleidingen nodig. De drukleiding voor regenwater moet worden uitgevoerd in kunststof.
4. Er mag geen directe verbinding mogelijk zijn tussen drinkwater en huishoudwater. Dit is om te voorkomen dat huishoudwater per ongeluk in het drinkwaterleidingnet wordt gepompt. Aanvulling van een regenwatertank met drinkwater moet mogelijk zijn om ook in droge periodes het toilet door te kunnen spoelen. Dit moet dan wel gebeuren door middel van atmosferische onderbreking conform EN1717.

Om 'bederf' van het regenwater door groei van algen en micro-organismen en afbraak van organisch materiaal te voorkomen moet het regenwater in een ondergrondse tank worden opgeslagen zodat het koel blijft en er geen licht bij komt. De regenwatertank moet bovendien toegankelijk zijn voor inspectie en onderhoud.

Het gebruik van grijswater stelt striktere eisen aan de systemen, omdat het water op locatie moet worden opgevangen, en omdat het, in tegenstelling tot opgevangen regenwater, aan bepaalde kwaliteitseisen moet voldoen (NEN-EN16941-1 versus NEN-EN16941-2). NEN-EN16941-1 specificeert de eisen en geeft aanbevelingen voor het ontwerp, de dimensionering, installatie, identificatie, inbedrijfstelling en het onderhoud van regenwateropvangsystemen voor het gebruik van regenwater op locatie als niet-drinkbaar water. Deze Europese norm specificeert tevens de minimeisen voor deze systemen. Uitgesloten van het toepassingsgebied van deze

Europese norm zijn: het gebruik als drinkwater en voor voedselbereiding; het gebruik voor persoonlijke hygiëne; decentrale waterafvoer; infiltratie. NEN-EN16941-2 specificeert de principes voor ontwerp, dimensionering, installatie, identificatie, inbedrijfstelling en onderhoud van grijswatersystemen met het oog op het gebruik van grijswater op locatie. Dit geldt bij voorkeur voor het gebruik van gezuiverd grijswater voor: toiletspoeling; tuinbesproeiing; wasgoed; schoonmaakdoeleinden. Dit document specificeert tevens de minimumvereisten voor grijswatersystemen. Uitgesloten van het toepassingsgebied van dit document zijn: gebruik als drinkwater en voor voedselbereiding; gebruik voor persoonlijke hygiëne; systemen voor direct gebruik zonder zuivering; productontwerp voor specifieke systeemcomponenten; industriële afvalwaterstromen; warmteterugwinning en koelbehoeften.

4 Literatuuronderzoek naar decentrale zuiveringssystemen

4.1 Nederlandse en Vlaamse literatuur

De laatste jaren is er veel belangstelling voor alternatieve bronnen voor (drink)water, omdat steeds duidelijker wordt dat we een tekort krijgen aan geschikt water via de huidige bronnen. Uit een KWR-onderzoek naar diverse alternatieve bronnen voor (drink)water bleek dat veel mogelijke bronnen niet geschikt zijn omdat de continuïteit, winbaarheid en kwaliteit gewaarborgd moeten zijn (Wuijts et al. 2011, Stofberg et al. 2019, Stofberg et al. 2019, Hofman-Caris et al. 2023). Geschikte bronnen zijn lokaal oppervlaktewater, zeewater, brak grondwater, opgevangen hemelwater, grijswater, industrieel afvalwater en ook RWZI-effluent. Bij sommige bronnen moet expliciet rekening worden gehouden met acceptatie door het publiek, door extra in te zetten op communicatie (Barendse et al. 2023). Dat is bij hergebruik van RWZI-effluent een grotere uitdaging dan bij het gebruik van regenwater, omdat bij veel mensen het idee leeft dat dat laatste vrij schoon is. Witteveen en Bos heeft in 2023 een rapport geschreven over de mogelijkheden om hemelwater en grijswater in gebouwen op te vangen en gebruiken (Phernambucq et al. 2023). Zij hebben hierbij gekeken naar een aantal verschillende systemen en combinaties daarvan, de invloed op drinkwatertekorten, waterkwaliteit en gezondheid, wet- en regelgeving, kosten en milieu-impact. Dit onderzoek is bedoeld als onderbouwing voor een later te maken integrale beleidsafweging op het gebied van watergebruik. Er is gekeken naar verschillende hemelwater- en grijswatersystemen, en hun effecten op drinkwaterbesparing. De mate van besparing hangt af van de hoeveelheid beschikbare neerslag (wat wordt bepaald door de hoeveelheid neerslag en het dakoppervlak), de grootte van de buffer, en het waterverbruik in het betreffende huishouden. Bij hemelwatersystemen kan iets minder water worden bespaard dan bij grijswatersystemen, omdat in droge periodes de tank leeg raakt, en met drinkwater aangevuld zal moeten worden.

De kosten van dergelijke regenwatersystemen variëren van ongeveer €10 tot €14/m³, wat vooral wordt bepaald door de aanschaf en afschrijving van de installaties. De operationele kosten voor hemelwatersystemen zijn ongeveer €1,76/m³, wat vergelijkbaar is met de prijs voor centraal gezuiverd drinkwater, al zitten daar ook vaste kosten en dergelijke in. De grootteorde is echter vergelijkbaar. Voor grijswatersystemen variëren de kosten tussen €11 en €19,50/m³, maar als de energiewinst door hergebruik van warmte wordt meegerekend worden deze bedragen €10,20 tot €11,10/m³. Ook hier zijn de totale kosten significant hoger dan de prijs van centraal geleverd drinkwater, en liggen de operationele kosten in dezelfde ordegrootte. Er is misschien een kleine milieuwinst te halen met decentrale systemen, maar dat hangt af van de situatie en de gebruikte definities en systeemgrenzen in de levenscyclusanalyse. Vooral het materiaalgebruik telt zwaar mee in de totale impact.

Specifiek voor WMD is een studie uitgevoerd naar de effecten en mogelijkheden van decentraal gebruik van hemelwater (Hermans et al. 2023). Hieruit blijkt dat door het toepassen van regenwatersystemen in nieuwbouwhuizen jaarlijks ongeveer 340.000 m³ drinkwater zou kunnen worden bespaard, waarbij de gezamenlijke kosten voor de woningeigenaren oplopen tot 62 – 102 miljoen euro. Als evenveel regenwater centraal kan worden opgevangen en in de grond geïnfiltreerd als grondwateraanvulling, bedragen de kosten hiervoor minder dan 1 miljoen euro. Een robuuste grondwateraanvulling is volgens deze auteurs mogelijk met kosten die slechts 1 – 2 % bedragen van de kosten voor individuele regenwateropvang. Hiermee zou een verdere drinkwaterbesparing volgens de auteurs dan niet meer noodzakelijk zijn, terwijl tegelijkertijd risico's op wanverbindingen of falen van zuivering worden uitgesloten en de veiligheid van het water adequaat kan worden geborgd. (Hermans et al. 2023)

Hoewel het gebruik van regenwater de drinkwatervraag enigszins kan doen dalen, kan het lokaal wel tot verdroging leiden, omdat minder regenwater in de bodem wordt geïnfiltreerd (Staes and Meire 2019, Cirkel 2025). Daarnaast

kan het bij grootschalige (lokale) implementatie leiden tot problemen met de drinkwaterkwaliteit in het net door het lage gemiddelde verbruik en verhoogde piekfactoren.

Mogelijkheden voor het gebruik van regenwater in een stadswijk en bij een woning in het buitengebied van Amsterdam zijn eerder verkend in een KWR-onderzoek (Hofman-Caris et al. 2019). Hieruit bleek dat de hoeveelheid regenwater die kan worden gewonnen vanaf daken te klein is om een stadswijk van voldoende water te voorzien. In het buitengebied zijn dakoppervlakken vaak veel groter, waardoor daar wel voldoende water opgevangen kan worden. Regen valt echter veelal in pieken, wat zorgt voor uitdagingen bij de opvang. Opvang in open vijvers betekent dat er gedurende een deel van het jaar weinig water in zal staan, daarom lijken wadi's meer geschikt. Opvang in gesloten buffers gaat het beste als het water eerst gezuiverd is om bederf tegen te gaan, maar dat vraagt om een relatief grote zuiveringscapaciteit die slechts af en toe, tijdens buien, in bedrijf is. Hierdoor zijn de kosten van dergelijke systemen hoog vergeleken met de kosten voor collectief geproduceerd drinkwater, en is ook de milieu-impact ervan hoger. Die conclusies werden bevestigd door een onderzoek in Limburg en Vlaanderen, waar is gekeken of alternatieve bronnen gebruikt kunnen worden in gebieden die niet kunnen worden aangesloten op het centrale leidingnet (Hofman-Caris et al. 2019, B-WaterSmart 2024). Net als in Amsterdam bleek ook hier dat een dergelijk systeem rendabel kan worden vanaf ongeveer 300 aangesloten woningen, als de vermeden kosten voor schade door wateroverlast worden meegerekend. In alle gevallen is het belangrijk dat de verantwoordelijkheid voor het onderhoud van dergelijke systemen bij een instantie ligt die verstand van zaken heeft, en niet bij individuele burgers, omdat de risico's op besmetting dan hoog zijn. De analyses, nodig om de waterkwaliteit te kunnen borgen, zijn voor individuele huishoudens (veel) te hoog (> €10.000/jaar).

4.2 Drinkwatergebruik in Nederland en Vlaanderen

Het gemiddelde gebruik van water per persoon en per dag in Nederland en Vlaanderen is weergegeven in Tabel 1 (VEWIN 2023, De Watergroep 2025)

Tabel 1: gemiddeld watergebruik per persoon per dag in 2023 (VEWIN 2023, De Watergroep 2025). Dit is het totale waterverbruik, kraanwater en regenwater.

Gebruik	L per persoon per dag	
	Nederland	Vlaanderen
Douche	46,2	21,45
Toilet	30,2	17,9
Wasmachine	16,9	10,85
Handen wassen	9,2	8,6
Wastafel	8,7	6,6
Bad	5,3	31
Overig	3,6	
Vaatwasser	2,9	2,98
Consumptie	2,6	
Handafwas	1,0	
Buitenkraan	0,9	3,48
Handwas	0,6	
Totaal	128,1	102,86

In Vlaanderen, waar regenwater wordt gebruikt voor toilet, buitenkraan en vaak ook wasmachine, gebruikt men 80 L per persoon per dag voor de overige doeleinden, wat overeenkomt met het gebruik in Nederland voor die

doeleinden (80,1 L per persoon per dag, op grond van de gegevens in Tabel 1). Wat dat betreft lijkt het totale watergebruik dus niet te veranderen door de regenwateropvang. Toch wordt in totaal in Vlaanderen slechts 103 L water per persoon per dag (pppd) gebruikt, tegenover 128 L per persoon per dag in Nederland (VEWIN 2023). Deels kan dit worden verklaard door regenwatergebruik (gemiddeld 11 L pppd, hoewel de data in Tabel 1 betrekking hebben op het totale watergebruik) en deels door andere keuzes over watergebruik in huis (gedrag). Zo wordt in Vlaanderen gemiddeld 18 L pppd water (leidingwater en regenwater) gebruikt voor toiletspoeling (VMM 2024) terwijl dit in Nederland 30 L pppd is (VEWIN 2016). Voor douchen wordt in Vlaanderen 27 L pppd gebruik en in Nederland 49 L pppd, maar daar tegenover neemt men in Vlaanderen blijkbaar vaker een bad. In totaal levert het dit geen significant verschil op.

Het is onduidelijk wat het grote verschil kan verklaren, mogelijk speelt vergroot bewustzijn door regenwateropvang een rol, maar dat is niet onderzocht. Een ander aandachtspunt bij de vergelijking van verbruiken is de manier waarop deze gemeten of berekend zijn. In Nederland zijn geen gegevens bekend over hoeveel regenwater wordt gebruikt in en om het huis, terwijl in Vlaanderen al voor de invoering van de verplichting in 2004 al 8% van het watergebruik uit regenwater bestond, tegen 11% nu twintig jaar later (Vlaamse Milieumaatschappij 2024). Daarnaast is onduidelijk hoe kraanwaterverbruik per persoon wordt bepaald, met interviews, berekend uit aansluitgegevens al dan niet met verliezen door lekken en spuien etc. Inmiddels is het kraanwatergebruik in Vlaanderen gedaald tot onder de 80 L per persoon per dag.

Er is een belangrijk verschil tussen de manier waarop de kosten voor water worden berekend in Vlaanderen en Nederland. De prijs van drinkwater in Nederland is weergegeven in Tabel 2 (VEWIN 2023). Hoewel er verschillen zitten tussen de verschillende drinkwaterbedrijven (afhankelijk van de ingenomen waterkwaliteit en daardoor benodigde zuiveringsprocessen), komt de gemiddelde prijs uit op €1,62/m³. Bij vergelijking met kosten voor eigen watervoorziening dient in gedachten te worden gehouden dat de drinkwaterprijs hoger is dan alleen de kostprijs voor productie en levering van drinkwater.

Tabel 2: kosten drinkwater 2023 inclusief vast recht op basis van 100 m³/j per aansluiting.

Drinkwaterbedrijf	Vastrecht (€/jaar)	Variabel tarief (€/jaar)	Totale prijzen (€/m ³)*
Brabant Water	69,84	0,72	1,42
Dunea	66,88	1,29	1,96
Evides	72,16	0,98	1,70
Oasen	76,75	0,97	1,74
PWN	65,38	1,59	2,24
Vitens	50,00	0,78	1,28
Waternet	109,46	1,03	2,12
WBG	67,28	0,86	1,53
WMD	83,40	0,85	1,68
WML	91,44	0,91	1,82
gemiddeld	75,26	1,00	1,62

*)Hierin zijn ook kosten voor belasting, beheer van natuurgebieden, klantenservice, investeringen enz. verwerkt.

Voor de behandeling van afvalwater betaalt men afhankelijk van de grootte van het huishouden waterschapsbelasting, en de tarieven verschillen per waterschap. In Vlaanderen zijn deze kosten geïntegreerd in één prijs. Hierdoor wordt er dus in feite niet betaald voor de behandeling van afvalwater dat afkomstig is van opgevangen regenwater. Er wordt wel een onderscheid gemaakt tussen het basistarief (30 m³ per wooneenheid plus 30 m³ per bewoner per jaar) en het zogenaamde comforttarief voor wat hier bovenop wordt gebruikt. Het

comforttarief is twee keer het basistarief (De Watergroep 2025). Een dergelijk onderscheid wordt in Nederland niet gemaakt.

Een ander verschil tussen Nederland en Vlaanderen is het gebruik van flessenwater. Uit onderzoek van de Universiteit van Antwerpen en KWR blijkt dat Vlaamse particulieren het idee hebben dat kraanwater duur is (Brouwer and Sjerps 2018), maar hierbij denken ze vaak aan de prijs van flessenwater. Daarnaast spelen subjectieve smaak en wantrouwen een rol. In Vlaanderen wordt dan ook significant meer flessenwater gedronken dan in Nederland. In Nederland zegt ongeveer 26 % van de ondervraagde mensen dagelijks flessenwater te drinken, maar in Europa is dat gemiddeld 53 % (en 18 % meerdere keren per week). 78 % van de Europeanen drinkt water uit plastic flessen (Roamler 2025). In Nederland drinken mensen gemiddeld 24 L flessenwater per jaar, in Vlaanderen 0,4 L per dag, wat neerkomt op 146 L per jaar (Vlaamse Milieumaatschappij 20168). Daarnaast is het water in het leidingnet in Vlaanderen minder kwetsbaar voor verontreinigingen doordat het, in tegenstelling tot Nederlands leidingwater, chloor bevat.

4.3 Internationale literatuur over decentrale zuiveringssystemen

4.3.1 Redenen om decentrale zuiveringssystemen aan te leggen

Raimondi et al. (2023) geven aan dat regenwateropvang een hulpmiddel kan zijn bij het behalen van alle 'sustainable development goals' (SDGs). In de literatuur wordt decentrale zuivering van drinkwater en/of afvalwater meestal aangegeven als een goede optie voor plekken waar nog geen centraal systeem is aangelegd of door lokale omstandigheden de aanleg van een centraal systeem te ingewikkeld of te duur is (Eticha et al. 2022, Bandyopadhyay 2024, Chavan et al. 2024, Y et al. 2024, Yan et al. 2024a, Bandyopadhyay 2024a). Veel informatie is dan ook afkomstig uit ontwikkelingslanden, en heeft geen betrekking op de Europese situatie. Maar Raimondi et al. (2023) betogen dat ook in ontwikkelde landen regenwateropvang en hergebruik meer en meer worden aangemoedigd via wet- en regelgeving, als een duurzame oplossing om de watervoorziening veerkrachtiger te maken. Tegelijkertijd geven ze aan dat regenwateropvang niet de gehele oplossing is voor het totale watermanagement probleem. Meestal kan er in een stedelijke omgeving onvoldoende regenwater worden opgevangen om aan de vraag te voldoen. Bovendien is het systeem erg gevoelig voor klimaatverandering, hoewel het ook juist kan worden beschouwd als een maatregel om de gevolgen van klimaatverandering tegen te gaan. Hoewel sommige landen regenwateropvang ook als bron voor drinkwaterproductie toestaan, is het in andere landen vanwege gezondheidsrisico's verboden om het als drinkwater te gebruiken, of om een tweede leidingnet (voor een soort huishoudwater) aan te leggen. Gebruik van regenwater, zij het niet als drinkwater, kan wel de vraag naar drinkwater doen afnemen, en daarmee bijdragen aan een oplossing voor de tekorten die daarin voorkomen of dreigen voor te komen.

4.3.2 Aandachtspunten bij aanleg decentrale zuiveringssystemen

In geval van waterschaarste, zoals in India veel voorkomt, zou het zuiveren van huishoudelijk afvalwater een oplossing kunnen zijn om de drinkwatervraag te beperken (Kumar et al. 2021). Een andere mogelijke oplossing bij waterschaarste is bijvoorbeeld het ontzouten van water op kleine schaal voor huishoudelijk gebruik of zelfs drinkwater, waarbij zonne-energie kan bijdragen aan de duurzaamheid en betaalbaarheid (Qamar et al. 2022).

Chavan et al. (2024) geven een overzicht van alle facetten waar rekening mee moet worden gehouden bij de aanleg van decentrale afvalwaterzuiveringen. Volgens deze auteurs is lokaal hergebruik op kleine schaal eenvoudiger dan op grote schaal, vanwege de benodigde infrastructuur. Deze conclusie trekken ook Raimondi et al. (2023), die stellen dat de toepassing van grootschalige infrastructuur zoals dammen, pompstations en lange pijplijnen vaak gepaard gaat met grote sociaal-economische en milieu-impact, en grote investeringen vergt. De aanleg van bijvoorbeeld kleinschalige regenwateropvang systemen kan bijdragen aan het oplossen van bepaalde watermanagementvraagstukken, zoals het voorkomen van overlast door piekbuien, al spelen ook hierbij de kosten voor bijvoorbeeld individuele woningbezitters een rol.

Tabel 3: Overzicht van de belangrijkste aspecten met betrekking tot een decentrale afvalwaterzuivering in ontwikkelingslanden (Chavan et al. 2024).

Type te verwachten problemen	Mogelijke situaties die zich voordoen	Risico's	Kansen	Strategieën
Ontwerp	Ondoordacht ontwerp	Slecht ontworpen systeem	Beschikbaarheid van ingenieurs	Opleiding van ingenieurs op het gebied van gedecentraliseerde afvalwatersystemen, capaciteitsopbouw voor lokale autoriteiten
Financiering	Gevolgen voor financiële kosten	Financieel risico bij investeringen	Taxeerbaar onroerend goed in de stad	Aanwenden van goedkope methoden, onderhandelen met de overheid over subsidies voor infrastructuurontwikkeling, heffen van belastingen op huishoudens
Volksgezondheid	Vermindering van bedreigingen voor de volksgezondheid (t.o.v. de oorspronkelijke situatie zonder zuivering)	Risico's voor de volksgezondheid in geval van slechte ontwerpen	Beschikbaarheid van gezondheidsdiensten in de stad	Het vaststellen van normen om de volksgezondheid te waarborgen, herziening van wetgeving en beleid inzake de volksgezondheid.*)

*) Normen zijn alleen zinvol als ook controle en handhaving mogelijk zijn.

Yan et al. (2024a), Chavan et al. (2024) en Y et al. (2024) identificeren een aantal uitdagingen en kansen voor decentrale zuiveringssystemen:

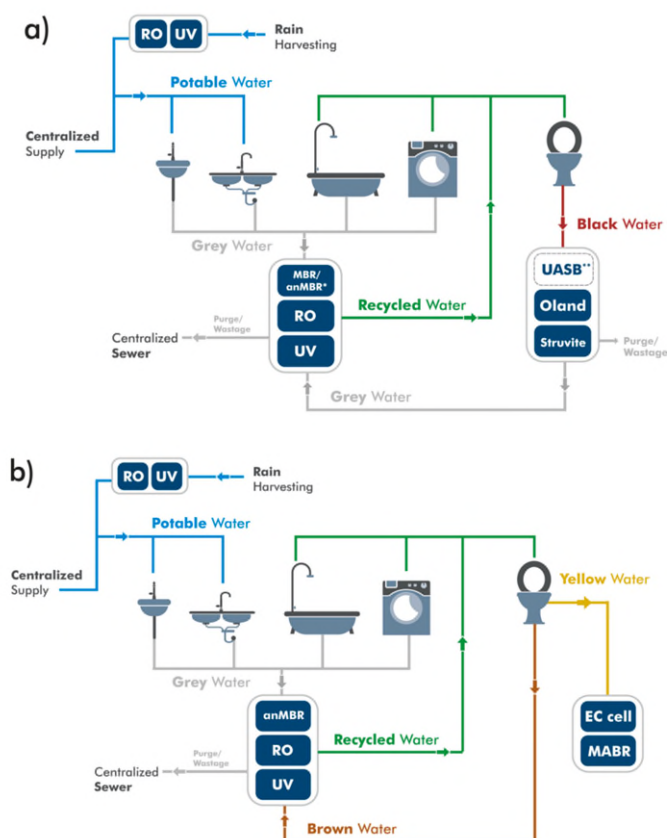
- Sociale uitdagingen. Het is belangrijk dat mensen mogelijke problemen herkennen, een milieusociaal bewustzijn ontwikkelen, en dat ze de technische oplossingen ook accepteren.
- Milieuproblemen: decentrale zuiveringen kunnen bijdragen aan milieubescherming.
- Economische uitdagingen: de uitgaven voor inzameling, transport en behandeling van het water moeten door een organisatie of persoon betaald worden. Daarnaast blijkt een circulaire economie op korte termijn vaak niet rendabel te zijn.
- Technologische uitdagingen: het is belangrijk rekening te houden met efficiëntie van de installatie, duurzaamheidsaspecten, de opvang en het hergebruik van afvalwater, naleving van kwaliteitseisen, en mogelijk een combinatie van centrale en decentrale strategieën. Bovendien speelt de beschikbaarheid van apparaten en onderdelen vaak een belangrijke rol, niet alleen bij de bouw, maar zeker ook tijdens onderhoud.
- Demografische aspecten: de bevolkingsdichtheid speelt een rol. Centrale systemen zijn in een dichtbevolkt gebied eenvoudiger te implementeren dan in dun bevolkte, landelijke gebieden, waar juist decentrale systemen voordelen bieden.
- Planningsaspecten: ontwikkelingen en wetgeving moeten goed gepland en vastgelegd worden. Soms kost implementatie heel veel tijd, of blijkt ontoereikende wet- en regelgeving een struikelblok.

Hoewel toespitsen op lokale omstandigheden een voordeel kan zijn, betekent het ook dat het maatwerk is, en er dus geen sprake is van een uniforme praktijk, wat de ontwikkeling en implementatie kan bemoeilijken.

Bij het voorkomen van regenwateroverlast en het toepassen van regenwater bij individuele woningen kunnen tegengestelde belangen voorkomen (Raimondi et al. 2023). Om regenwateroverlast tegen te gaan, is er opvangcapaciteit nodig. Dit houdt bijvoorbeeld in dat een opvangtank binnen 48 uur geleegd zou moeten kunnen worden, maar dan is er niet voldoende water in voorraad om aan de vraag voor toepassingen te voldoen. Vaak blijken opvangsystemen ook te klein om echte piekbuien te kunnen opvangen. Voor die gevallen geven de auteurs aan dat het belangrijk is het water te laten overlopen van de opvangtank naar infiltratiesystemen voor de bodem, of het water te gebruiken voor groene daken. Ook Wartalska et al. (2024) wijzen op de dubbele functie van regenwateropvang. Zij wijzen er wel op dat dergelijke systemen relatief duur zijn, en dat de overheid, als ze wil dat deze meer worden toegepast, ze financieel aantrekkelijker zou moeten maken. Ze geven een overzicht van verontreinigingen die worden aangetroffen in regenwater (metalen, sulfaten, nitraten, organisch materiaal en micro-organismen), en bijpassende behandelingstechnieken conventionele technieken als zandfiltratie, membraanprocessen, biodegradatie, oxidatie en elektrocoagulatie), maar wijzen ook op het onvoorspelbare karakter van regenval.

In de internationale literatuur is vooral veel informatie te vinden over decentrale zuiveringsinstallaties voor huishoudelijk afvalwater (Panchangam et al. 2024, Y et al. 2024). Een drijfveer hiervoor is in veel gevallen hergebruik: water voor irrigatie in de landbouw, terugwinning van nutriënten en gebruik in bijvoorbeeld constructiematerialen (Haroun et al. 2024, Xu et al. 2024). Yan et al. (2024a) hebben de mogelijkheden voor verschillende typen afvalwater verkend: grijswater, huishoudelijk, agrarisch en industrieel afvalwater (en mengsels hiervan), en afvalwater van ziekenhuizen, waarbij ze vooral de nadruk leggen op biologische zuiveringsprocessen als aangelegde wetlands en rietvelden, en zandfiltratie. Deze auteurs wijzen met nadruk op de risico's die dergelijke systemen met zich meebrengen. Een gebrek aan bewustzijn en technische expertise bij lokale gemeenschappen en instituten kan leiden tot onjuiste installaties, bedrijfsvoering en onderhoud van de systemen. Monitoring is hierbij dan ook een belangrijke vereiste. Een niet goed werkend systeem vormt een risico voor het milieu en de volksgezondheid. Dit is alleen te voorkomen met adequaat beleid en wet- en regelgeving, technische ondersteuning en training aan lokale gemeenschappen en instituten, en duurzame financieringsmechanismen. Dit wordt onderkend door andere auteurs (Eticha et al. 2022, Bandyopadhyay 2024, Xu et al. 2024). De schaal van de zuivering (individuele huishoudens, wijkniveau of bij de industrie) speelt hierbij een belangrijke rol. Dergelijke randvoorwaarden zullen in een ontwikkeld land eenvoudiger te realiseren zijn dan in een lage- of middeninkomensland.

Garrido-Baserba et al. (2022) hebben vijf verschillende scenario's vergeleken, waarin drinkwaterproductie, afvalwaterbehandeling, regenwateropvang en recycling werd toegepast. Stroomdiagrammen zijn weergegeven in Figuur 1. Ze hebben zes soorten gebouwen (van een gezinswoning tot een flatgebouw) doorgerekend met vijf verschillende waterbehandelingssystemen onder vijf verschillende klimaatcondities. Ze hebben hierbij rekening gehouden met zwart, grijs, geel, bruin en een combinatie van afvalwater. Volgens kunnen de drie kleinste typen gebouwen op deze manier in hun waterbehoefte voorzien, en de drie grotere voor 74 – 100 %. De bouwkosten nemen voor grotere gebouwen, voor meerdere gezinnen, toe met 6 %, terwijl dat voor gezinswoningen met ongeveer 12 % zou zijn. Voor gebouwen met meer dan 300 inwoners zouden de kosten (inclusief winning, behandeling, recycling en monitoring) neerkomen op \$1,5 - \$2,7 per m³, wat volgens de auteurs lager is dan wat gebruikelijk is in de VS en Europa. De kosten voor monitoring zijn aanzienlijk. Regenwater wordt gebruikt om er drinkwater van te maken, het hergebruikte afvalwater niet. De auteurs beschouwen regenwater als een veilige bron voor drinkwaterproductie, maar vermelden niet dat er dan wel voldoende regenwater opgevangen moet kunnen worden. Het is juist dat er betrouwbare technieken zijn om regenwater tot drinkwater te zuiveren, maar ze geven geen details over de monitoringseisen, en of er bijvoorbeeld sprake is van een AMVD. Ook geven ze aan dat veel mensen sowieso al flessenwater drinken, en dat het met RO-gezuiverde regenwater aan dezelfde eisen kan voldoen (die minder streng zijn dan de Nederlandse drinkwatereisen). De auteurs vinden het gebruik van gezuiverd afvalwater voor douchen kritisch maar eerder haalbaar dan er drinkwater van maken.



Figuur 1: stroomdiagrammen van een volledig decentrale aanpak voor zowel zwart- als grijswater. Schema (a) verwijst naar vacuüm en conventionele toiletten, terwijl (b) uitgaat van toiletten met aparte opvang van urine. * geeft dat dat een MBR wordt gebruikt voor scenario's V1 en C1, terwijl een MBR wordt overwogen voor V2 en C2. ** betekent dat geen UASB zal worden toegepast waar een MBR aanwezig is.

Bij alle kostenvergelijkingen worden in de regel geen vermeden kosten meegenomen voor wateroverlast en riooloverstorten tijdens piekbuien. Om een indruk te krijgen van deze kosten, zijn Hofman-Caris et al. (2018) uitgegaan van een soort “tegeltax”, zoals die bijvoorbeeld in Berlijn wordt geheven per m² verhard oppervlak om voor dergelijke kosten te compenseren. Die kwamen enkele jaren geleden uit op €1,84/m² verhard oppervlak (Welt 2010)

De decentrale zuivering van drinkwater komt in de literatuur niet heel vaak voor. Veel burgers, niet alleen in ontwikkelingslanden, hebben het idee dat regenwater een schone bron is, maar Yan et al. (2024b) wijzen er met nadruk op dat dit zeker niet het geval is. Het hangt onder andere sterk af van het type dak en dakmateriaal dat is toegepast, het materiaal van de opvangtank en de plaatsing ervan (bovengronds of ondergronds, afgesloten van zonlicht, risico op bevriezen en dergelijke) (Raimondi et al. 2023). Het is belangrijk voor regenwater te beschikken over een goed functionerend systeem, dat goed wordt onderhouden en schoongemaakt. Yan et al. (2024b) beschouwen regelmatige monitoring van de werking van het systeem als een noodzakelijke voorwaarde. Dit is een zwak punt bij veel kleinschalige zuiveringen. Grote drinkwaterbedrijven voeren met grote regelmaat kwaliteitscontroles uit, maar voor kleinschalige processen zijn de analysekosten net zo duur als voor grootschalige processen, waardoor de kosten per persoon enorm sterk toenemen. Bovendien zit er in kleinschalige systemen over het algemeen geen buffer als een reinwaterkelder, waardoor met name microbiologische testresultaten, die meestal enkele dagen in beslag nemen, vaak pas beschikbaar komen als het water al geconsumeerd is (Hofman-Caris et al. 2019). Bandyopadhyay (2024) wijst erop dat het niet altijd nodig is al het water tot drinkwater te zuiveren, en dat in zo'n geval een beperkte zuivering, aangevuld met een *point-of-use* behandeling voor water dat specifiek voor consumptie is bedoeld, uitkomst kan bieden. Dit brengt echter ook risico's met zich mee, bijvoorbeeld dat per ongeluk toch kwalitatief ongeschikt water als drinkwater wordt gebruikt. Bovendien zijn dergelijke systemen vaak niet efficiënt (geven ze bijvoorbeeld een recovery van slechts 30 %), zijn ze niet altijd

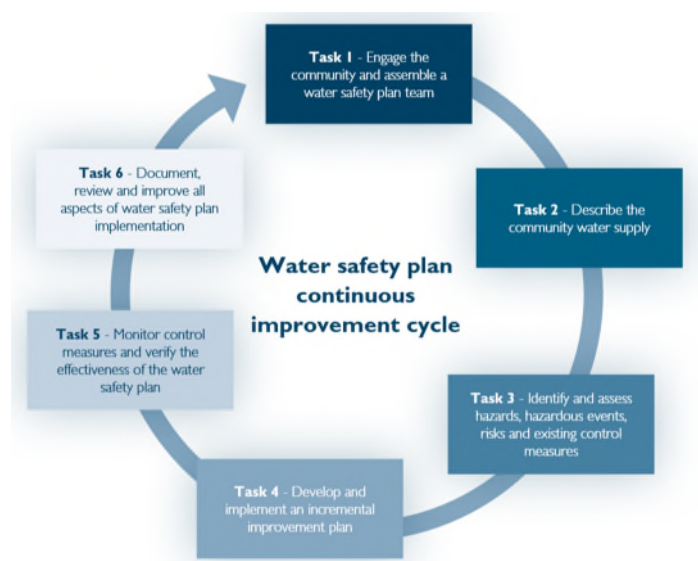
betrouwbaar en duur (Hofman-Caris et al. 2019). Van de andere kant bespaar je op kosten doordat de hoeveelheid te zuiveren water veel kleiner is (Bandyopadhyay 2024). Voor andere toepassingen dan drinkwater in huis moet een tweede leidingnetwerk worden aangelegd (Raimondi et al. 2023). In elk geval vereist een regenwateropvangsysteem voor alle toepassingen regelmatig onderhoud en schoonmaak.

Aangezien allerlei alternatieve bronnen, zoals afvalwater en regenwater, vaak verontreinigd zijn met bijvoorbeeld organische microverontreinigingen, wijzen Barazorda-Ccahuana et al. (2023) erop dat conventionele zuiveringsprocessen vaak niet meer voldoende zijn voor de verwijdering van deze stoffen, en er meer geavanceerde zuiveringstechnieken nodig zijn om water(her)gebruik voor verschillende toepassingen veilig mogelijk te maken. Nieuwe ontwikkelingen zijn vooral te vinden op het gebied van elektrochemische processen (Bandyopadhyay et al. 2023, Oliveira et al. 2024), zoals bio-elektrochemische systemen en elektrodialyse (Guo and Kim 2024, Zakaria et al. 2024), eventueel in combinatie met aangelegde wetlands (Yadav et al. 2024). Zhang et al. (2022) beschrijven een elektrochemisch proces om chloor en of waterstofperoxide te maken voor decentrale zuivering van drinkwater. Een dergelijke aanpak vereist echter de nodige veiligheidsmaatregelen, en kan bovendien leiden tot de vorming van transformatieproducten en desinfectiebijproducten, die gezondheidsrisico's kunnen veroorzaken.

De veiligheid van drinkwater omvat meer dan alleen het meten van de waterkwaliteit. Drinkwaterbedrijven hanteren een uitgebreid systeem van risicomanagement waarvan waterkwaliteitscontrole slechts een onderdeel uitmaakt (van den Berg et al. 2017). Internationaal wordt hiervoor de term *water safety plans* (waterveiligheidsplannen) gebruikt. De WHO heeft een rapport gepubliceerd over risicomanagement bij kleinschalige drinkwatervoorzieningen (WHO 2012). Een 'waterveiligheidsplan' bestaat uit zes taken:

1. betrek de gemeenschap en stel een team samen voor een waterveiligheidsplan
2. beschrijf de watervoorziening van de gemeenschap
3. identificeer en beschrijf gevaren, gevaarlijke gebeurtenissen, risico's en bestaande controlemaatregelen
4. ontwikkel en implementeer een plan voor incrementele verbetering
5. monitor controlemaatregelen en controleer de effectiviteit van het waterveiligheidsplan
6. documenteer, beoordeel en verbeter alle aspecten van de implementatie van het waterveiligheidsplan

Dit is schematisch weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2: zes taken die nodig zijn om een waterveiligheidsplan te ontwikkelen voor de productie van drinkwater voor een kleine gemeenschap (WHO 2012)

Een samenvatting van wat deze maatregelen inhouden is weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4: Samenvatting van de taken die een rol spelen bij het ontwikkelen en implementeren van een waterveiligheidsplan voor een drinkwatervoorziening die door een kleine gemeenschap zelf wordt bedreven (WHO 2012)

Task No.	Description of task	Key questions	Key outcomes
Task 1	Engage the community and assemble a WSP team	Who needs to be, should be and wants to be involved?	A community empowered through interest and ownership in the management of its water supply Support from health and water staff in the concerned administrative unit (e.g. district, block, parish) and/or from experienced NGOs Linkage to prevailing government policies, water quality standards, laws and local by-laws
Task 2	Describe the community water supply	Have we accurately captured the details of our water supply system?	Proper documentation of the community water supply (with drawings, maps, photos, water quality records and relevant management and institutional records)
Task 3	Identify and assess hazards, hazardous events, risks and existing control measures	How serious is the risk of a hazard causing harm?	Improved knowledge of hazards and hazardous events and associated risks to public health in the system Improved understanding of how the risks are currently being addressed (what control measures are in place and whether they are suitable and effective) and what risks may need further control
Task 4	Develop and implement an incremental improvement plan	How do we get to where we want to be?	Scoping of opportunities to improve drinking-water quality (by new or modified control measures) Priority actions identified to improve management and safety of the supply, including proposed timelines and needed resources Engagement of the community in implementation of the improvements
Task 5	Monitor control measures and verify the effectiveness of the WSP	Are the control measures and the plan working?	Operational monitoring and inspections demonstrating that control measures continue to work effectively Verification that the WSP is appropriate and working effectively to provide safe drinking-water
Task 6	Document, review and improve all aspects of WSP implementation	What do we need to do to ensure that our WSP works well and to improve it continuously?	Well-established management procedures for normal, incident and emergency situations shared with the WSP team and those responsible for managing the community water supply Supporting activities established to embed the WSP approach into water supply operations (e.g. training and education) Establishment of processes to review the WSP periodically, ensuring that the WSP remains up to date and effective, resulting in incremental improvements to water safety

In het rapport worden tips gegeven hoe een dergelijk waterveiligheidsplan het beste kan worden gemaakt. Het belangrijkste is dat het voor de hele gemeenschap c. q. de gebruikers heel duidelijk is dat dit plan belangrijk is, dat de afspraken nagekomen moeten worden, en wie waarvoor verantwoordelijk is.

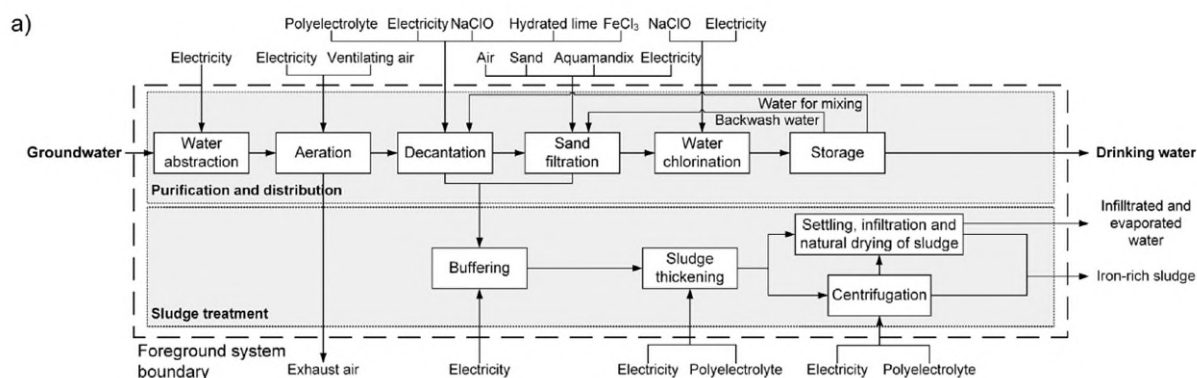
4.3.3 Milieu-impact van decentrale zuiveringen in de internationale literatuur

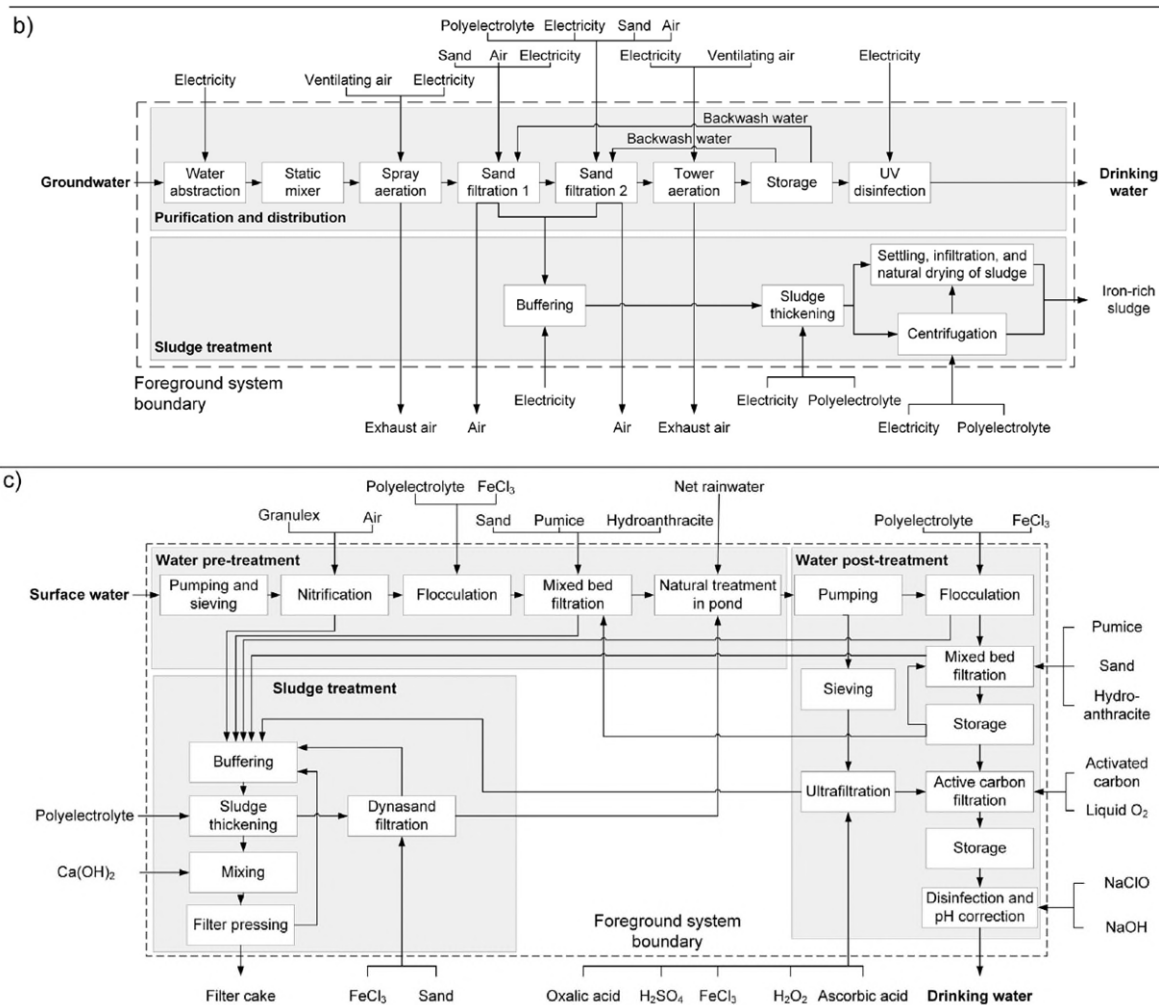
Veel mensen geven als reden voor het willen toepassen van decentrale systemen op dat ze duurzamer willen leven, zoals onder andere bleek uit de in het kader van dit onderzoek gehouden interviews, en de literatuur (Garrido-Baserba et al. 2022). Daarom is in deze bureaustudie eveneens onderzocht of decentraal zuiveren van water tot een bepaalde kwaliteit (bijvoorbeeld huishoudwater of drinkwater) inderdaad beter is voor het milieu dan de centrale zuiveringen die we in Nederland op dit moment hebben.

Tabel 5: gemiddeld watergebruik in Vlaanderen in 2016.

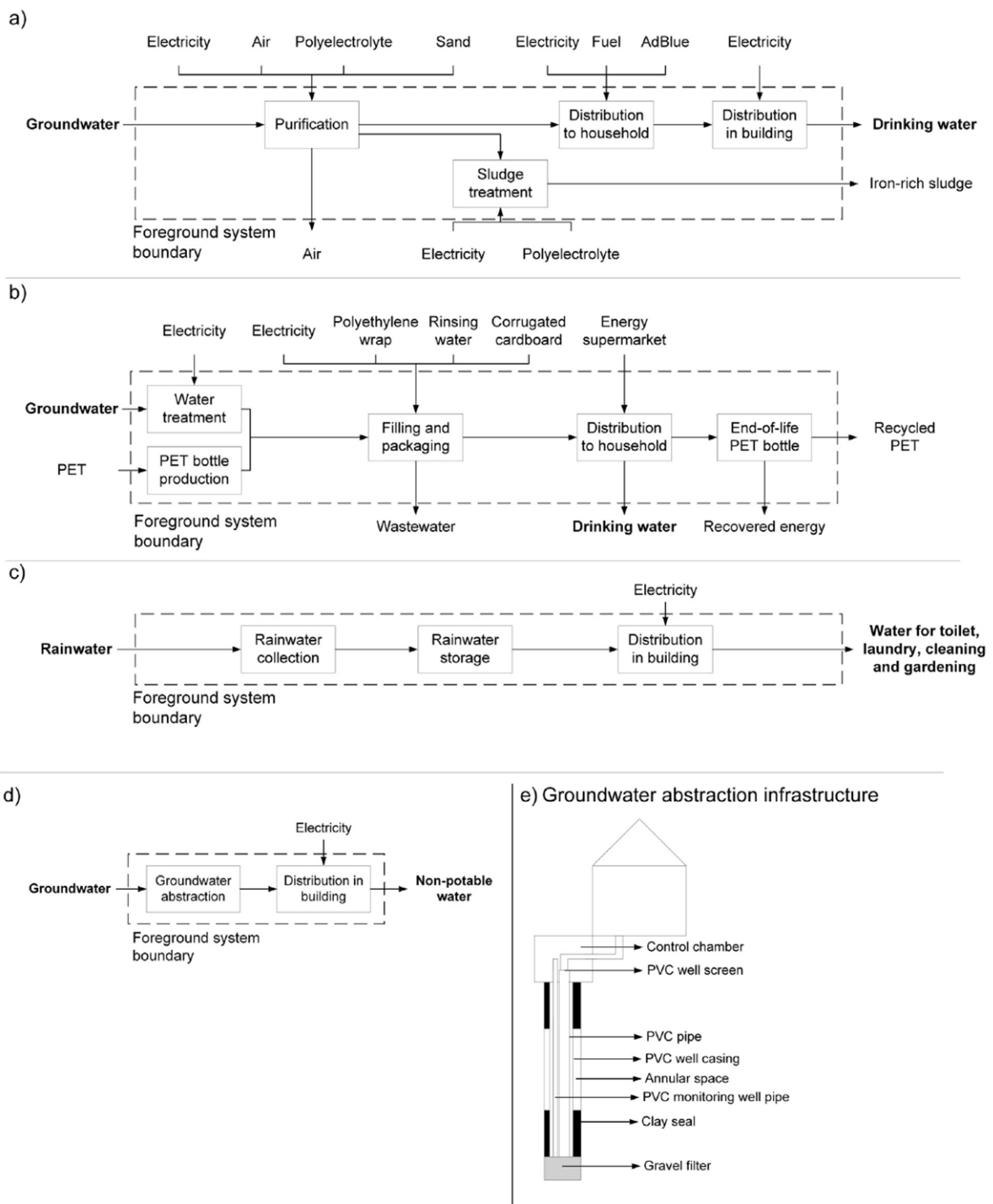
	Gemiddelde consument (L)	Vrijstaand huis (L)	Halfvrijstaand huis (L)	Rijthuis (L)	Appartement (L)
Kraanwater	100	92	92	86	100
Flessenwater	0	0	0	0	0
Opgevangen regenwater	12	21	12	8	12
Opgepompt grondwater	2	2	4	0	2
Totale waterconsumptie per persoon (L/dag)	114	115	108	94	101

Uit hun studie bleek dat het gebruik van flessenwater een CO₂-voetafdruk heeft van 259 CO₂-eq./m³, terwijl kraanwater een impact van slechts 0,17 CO₂-eq./m³ heeft. Zij stellen vast dat in Vlaanderen de meeste milieuwinst te behalen is door over te stappen van flessenwater naar kraanwater. De CO₂-voetafdruk én de grondstofvoetafdruk (die gebaseerd is op hergebruiksmogelijkheden) is weergegeven in Tabel 7). Het opgevangen regenwater wordt niet gezuiverd en gebruikt voor bijvoorbeeld toiletspoeling of wasmachines. Ook het grondwater wordt niet behandeld in deze studie. Voor kraanwater is de benodigde infrastructuur in de berekening meegenomen, en bij flessenwater zijn zowel transport als de infrastructuur in de berekening meegenomen. Een overzicht van de systemen voor de productie van kraanwater is gegeven in Figuur 3 en in Figuur 4 worden de verschillende systemen beschreven die in deze LCA-studie zijn meegenomen (kraanwater, flessenwater, opgevangen regenwater zonder zuivering, en zelf opgepompt grondwater zonder zuivering).





Figuur 3: overzicht van de waterzuiveringsprocessen die voor kraanwater zijn toegepast (Thomassen et al. 2021). a) Grondwater in huidige proces, b) grondwater in nieuw proces, c) oppervlaktewater.



Figuur 4: overzicht van systemen waarvoor een LCA-studie is uitgevoerd (Thomassen et al. 2021). a) kraanwaterproductie, b) flessenwater, c) thuis opgevangen regenwater, d) systeemgrenzen van thuis opgepompt grondwater, e) infrastructuur voor het thuis oppompen van grondwater

Raimondi et al. (2023) hebben een LCA-studie uitgevoerd waarin ze de opvang en gebruik van regenwater, grijswater en een hybride systeem vergeleken hebben. Daar kwam regenwateropvang als gunstigste uit, wat ook te verwachten is gezien de betere waterkwaliteit.

Faragò et al. (2019) hebben een vergelijking gemaakt op basis van LCA en 'total value added'(TVA) tussen vijf verschillende Deense systemen: grondwater voor de productie van drinkwater, centrale regenwateropvang met verschillende zuiveringen (voor niet-drinkwater toepassingen), en regenwateropvang zonder zuivering voor niet-drinkwatertoepassingen (zie Tabel 6). De systeemgrenzen van dit onderzoek omvatten grondwater onttrekking, regenwateropvang en piekbuien, distributie, behandeling, watergebruik en lozing van verontreinigd regenwater bij piekbuien. Bij de regenwateropvangsystemen werd 94 % van de impact veroorzaakt door metalen die via het regenwater in het milieu terechtkomen. De drie centrale behandelingssystemen deden de milieu-impact met 80 % afnemen. De beide eerste systemen (CT1 en CT2; Tabel 6) scoorden over het algemeen het beste, zowel op het gebied van LCA als sociaal-economisch. Hun voornaamste milieu-impact werd veroorzaakt door de roestvaststalen onderdelen die nodig waren. De relatief hoge impact van de reguliere grondwaterzuivering werd veroorzaakt door de hoge hardheid van het water, dat zorgde voor een hoog elektriciteits- en zeepgebruik bij huishoudens. Deze vergelijking is dan ook niet één op één over te nemen voor andere situaties. De auteurs geven echter geen aandacht aan eventuele gezondheidsrisico's.

Tabel 6: overzicht van de verschillende door Faragò et al. (2019) vergeleken systemen

Table 1
Key processes and effects of the evaluated alternatives. DW: drinking water, SWTP: secondary water treatment plant, WWTP: wastewater treatment plant. Additional information is found in [Appendix A](#) in the Supplementary Material.

Alternative	Intake	Treatment	Distribution	Use	Discharge to freshwater
A0-GW	Groundwater abstraction	Sand filtration and aeration at conventional waterworks	DW pipes from waterworks to end-users, supplying drinking water for all uses	Potable/non-potable. Effects of water hardness of 265 mg/l CaCO ₃ on electricity and laundry detergent consumption	Pollutants in stormwater are partly removed through vegetation in the trenches and sedimentation in the basins, before discharge. Household wastewater is treated at a WWTP prior to discharge. Pollutants in stormwater are partly removed through vegetation in the trenches and sedimentation in the basins. Reject water from the SWTP is discharged directly to a freshwater recipient. Non-potable household wastewater is treated as in A0-GW.
CT1 UF-UV	Rainwater/stormwater collection from roofs and roads. Stormwater collected through a system of wet basins and channels	Centralised SWTP with a capacity of 6 m ³ /h located at basin (D). Treatment steps: sand filter, pre-filter (300 µm), ultrafiltration, storage tank (60 m ³), UV-disinfection	Dual pipe distribution: conventional drinking water pipe system as in A0-GW supplying potable water, and a secondary water pipe system for treated rainwater/stormwater from the SWTP for non-potable uses (toilet flushing and laundry)	Non-potable. Effects of water hardness of 145 mg/l CaCO ₃ on electricity and laundry detergent consumption	As for CT1 UF-UV
CT2 UF-H ₂ O ₂	As for CT1 UF-UV	As for CT1 UF-UV, but UV replaced with a novel on-site hydrogen peroxide	As for CT1 UF-UV	As for CT1 UF-UV	As for CT1 UF-UV
CT3 RO-UV	As for CT1 UF-UV	As for CT1 UF-UV but with an additional reverse osmosis after UF pre-treatment	As for CT1 UF-UV	As for CT1 UF-UV	As for CT1 UF-UV
DT-RWH	Rainwater collection from roofs	Establishment of 273 private decentralised rainwater harvesting (RWH) systems whose components are: stainless steel filters, underground storage tanks (2 m ³ /tank), pumps	Piping system from the underground tanks to end-users	As for CT1 UF-UV	Reject from the RWHs is connected to the sewer system and treated at a WWTP discharging to a freshwater recipient. Pollutants in runoff from non-roof areas are removed partly through vegetation in the trenches and sedimentation in the basins before discharge to the freshwater recipient. Non-potable household wastewater treated as in A0-GW.

Tabel 7: CO₂-voetafdruk en grondstofvoetafdruk van vier verschillende typen water (Thomassen et al. 2021).

	CO ₂ voetafdruk (CO ₂ -eq/m ³)	grondstof voetafdruk (MJex/m ³)
Kraanwater*)	0,17	6,51
Flessenwater	259	5236
Thuis opgevangen regenwater	0,67	31,6
Thuis opgepompt grondwater	0,90	39,8

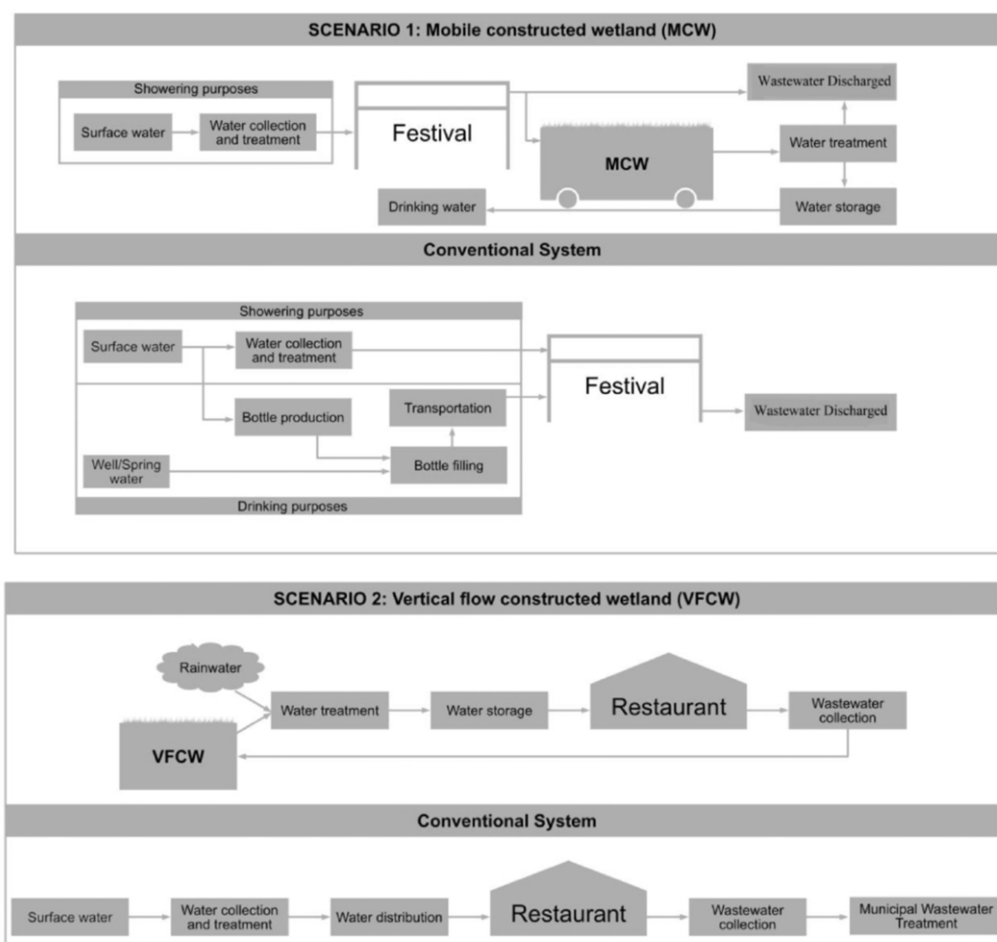
*) gebaseerd op data van een nieuwe grondwaterzuivering bij PIDPA

Uit de gegevens in Tabel 7 blijkt duidelijk dat centrale drinkwaterzuivering een veel lagere milieu-impact heeft dan zelfs het regenwater dat alleen maar is opgevangen. De impact wordt voor een groot deel veroorzaakt door het gebruik van fossiele brandstoffen, onder andere bij de productie van de benodigde materialen (bij kraanwater is dit 34 %, bij flessenwater 71 %, bij opgevangen regenwater 43 % en bij thuis opgepompt grondwater 28 %). De lagere milieu-impact van kraanwater in vergelijking met decentraal geproduceerd drinkwater, bijvoorbeeld uit opgevangen regenwater, wordt ook bevestigd door een KWR-studie naar de bouw van een nieuwe wijk in Amsterdam (Hofman-Caris et al. 2019). De uitkomsten van een dergelijke impactstudie hangen echter ook af van de gekozen systeemgrenzen. Thomassen et al. (2021) nemen mogelijke effecten van grondwateronttrekking en van riooloverstorten tijdens piekbuien niet mee in hun beschouwing. In Nederland zijn riooloverstorten iets minder problematisch dan in Vlaanderen, aangezien hier veelal is of wordt overgestapt op gescheiden rioolstelsels.

Lakho et al. (2022) hebben twee decentrale zuiveringssystemen onderzocht:

1. Een muziekfestival in België waar grijswater werd behandeld met een mobiel aangelegd wetland en een membraanfiltratie om drinkwater te maken. Hierbij werd uit 400 m³ afvalwater uiteindelijk 100 m³ drinkwater geproduceerd).
2. Een restaurant (in België met 135 bezoekers per dag), waar zwartwater werd behandeld met een verticaal doorstroomd aangelegd wetland, in combinatie met een membraanfiltratie, om er weer drinkwater van te maken.

Beide systemen zijn schematisch weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: schematische weergave van de decentrale zuiveringssystemen in scenario 1 en 2 (Lakho et al. 2022). MCW = mobile constructed wetland. VFCW = vertical flow constructed wetland.

De impact van deze zuiveringen is vergeleken met het gebruik van PET-flessen met drinkwater en met een openbare drinkwatervoorziening.

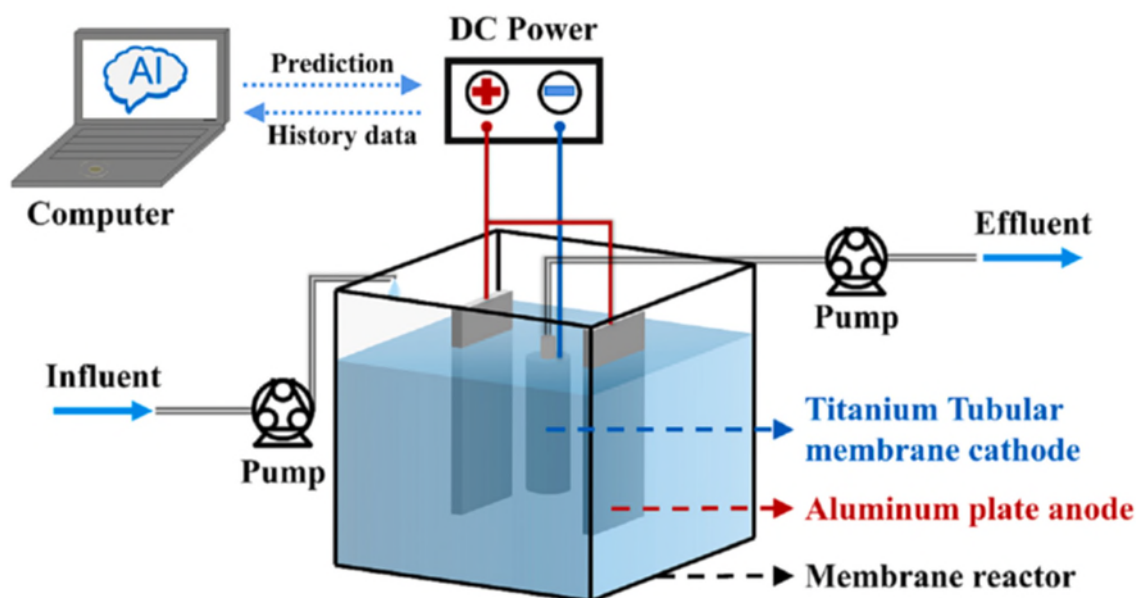
Bij het festival werd douchewater eerst door een aangelegd wetland geleid, waarna voor drinkwaterproductie ultrafiltratie, gevolgd door omgekeerde osmose werd toegepast. Tot slot werd nog desinfectie verkregen met behulp van een LED-UV lamp (Pearl Aqua micro 12 C van Aquisence; hiervan wordt door de fabrikant alleen aangegeven dat het UV-C straling is, niet welke golflengte en dosis) (Lakho et al. 2020). Voor de vergelijking wordt het lozen van 300 m³ onbehandeld water op het oppervlaktewater en de productie van 100 m³ drinkwater vergeleken met de combinatie van het lozen van 400 m³ afvalwater op het oppervlaktewater en het gebruik van 100 m³ aan flessenwater. In scenario 2 wordt ook gesproken over een membraaninstallatie voor drinkwaterproductie, en waarschijnlijk betreft dit een vergelijkbare installatie als in scenario 1 is toegepast. De functionele eenheden voor dit onderzoek waren 1 m³ afvalwater geloosd per jaar en 1 m³ behandeld water per jaar. De systeemgrenzen omvatten de opvang en behandeling van afvalwater en de productie van drinkwater uit beide systemen. Distributienetwerken zijn niet meegenomen in scenario 1. Voor de openbare drinkwatervoorziening werden de volgende processen meegenomen: filtratie over actieve kool, microfiltratie, ultrafiltratie en omgekeerde osmose. Voor de levensduur van de membranen werd vijf jaar aangenomen, de standtijd van de actieve kool werd op drie jaar gezet, en de LCA werd uitgevoerd over een periode van twintig jaar. Bij de vergelijking met het flessenwater werd aangenomen dat de zowel de volle als lege flessen over een afstand van 250 km vervoerd moesten worden. In scenario 1 gaf het decentrale systeem een lagere impact dan het alternatief met het flessenwater, in scenario 2 was de impact van het decentrale systeem lager dan dat van het conventionele rioolsysteem. Bij centrale systemen wordt ook veel impact veroorzaakt door de energie die nodig is voor het verpompen van water en de aanleg van de systemen. Wel moet hierbij worden opgemerkt, dat water dat via omgekeerde osmose (*reverse osmosis*, RO) wordt verkregen in de regel niet voldoet aan het drinkwaterbesluit, omdat het bijvoorbeeld geen mineralen bevat. Een ander aandachtspunt is de robuustheid van de systemen: hoe wordt gecontroleerd dat alles nog functioneert zoals de bedoeling was? In dit artikel wordt niet ingegaan op bijvoorbeeld de hoeveelheden antiscalings- en antifouling middelen die nodig zijn om RO-membranen goed te laten functioneren, en die ook voor milieu-impact zorgen. Dit is voor nanofiltratie aangetoond door Lu et al. (2024).

Pandit et al. (2024) gaan uit van nanotechnologie om duurzame decentrale zuiveringen op te zetten. Hierbij gebruiken ze adsorptie op nanodeeltjes, nanofiltratie, fotokatalyse, Fe(0)-deeltjes, en nanozilverdeeltjes voor desinfectie. Volgens deze auteurs is het voordeel hiervan dat ze herbruikbaar zijn, minder ruimte innemen, minder toxische bijproducten produceren dan sommige andere processen, en relatief eenvoudig kunnen worden toegepast in decentrale systemen. Terugwinning en hergebruik van nanodeeltjes is vaak nog wel een uitdaging. Nanodeeltjes komen vaak in het slib terecht, waardoor de hoeveelheid nanodeeltjes in het milieu de afgelopen jaren sterk is toegenomen, wat negatieve effecten kan hebben voor bijvoorbeeld grondwaterecologie. Bovendien kunnen ze ophopen in celwanden van bacteriën, en er zijn ook aanwijzingen dat ze gevolgen kunnen hebben voor menselijke gezondheid, met name bij inademing. Daarom benadrukken deze auteurs het belang van LCA-studies. Hieruit komt onder andere naar voren dat de productie van nanodeeltjes een belangrijk aandeel kan hebben in de totale milieu-impact. Deze ontwikkeling is echter nog ver verwijderd van praktische toepassingen.

4.3.4 Controle van de werking van zuiveringssystemen c.q. waterkwaliteit

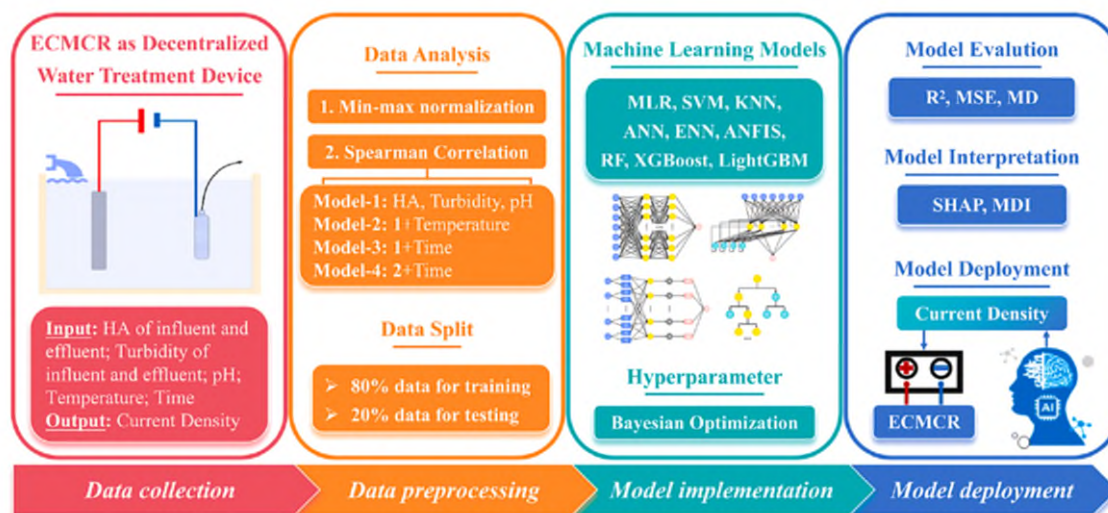
Zoals hierboven aangegeven, is de controle van de waterkwaliteit (en dus de werking van kleinschalige zuiveringssystemen) een aandachtspunt. Li et al. (2024) wijzen erop dat bij decentrale zuiveringssystemen voor drinkwater de kwaliteit van het ingangswater grote variaties kan vertonen, terwijl er ook vaak een gebrek is aan gekwalificeerd personeel om het systeem te beoordelen. Deze auteurs hebben machine learning toegepast op een kleinschalige zuivering met een elektrocoagulatie membraan kathode reactor (ECMCR), waarbij het proces kon worden afgestemd op de waterkwaliteit zonder dat hier mankracht voor nodig was. Wel werden hiervoor relatief eenvoudig te meten parameters als pH temperatuur, troebelheid en gehalte aan humuszuren toegepast. Het is de vraag of dit voldoende is om altijd kwalitatief veilig drinkwater te kunnen garanderen, aangezien voor drinkwater

veel strengere eisen gelden (Nederlandse Overheid 2021). Figuur 6 geeft een schematische weergave van het zuiveringsproces weer.



Figuur 6: schematische weergave van het ECMCR zuiveringsproces (Li et al. 2024)

Een overzicht van het technische stroomdiagram is weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7: technische stroomdiagram van de ECMCR via machine learning (Li et al. 2024)

Verder is er in de literatuur over decentrale zuiveringssystemen weinig te vinden over waterkwaliteitscontrole. Hollander et al. (1996) hebben vastgesteld dat opgevangen regenwater weliswaar pathogenen kan bevatten, maar in de meeste gevallen geschikt zou kunnen zijn voor bijvoorbeeld douchen. Wel wijzen zij op het risico van kruisverbindingen, die het drinkwater kunnen besmetten.

Decentrale systemen zijn ontworpen om een bepaalde waterkwaliteit te kunnen leveren, maar er is vaak weinig tot geen controle op het functioneren van deze systemen over de tijd, en eventuele schades die ontstaan. Dit kan tot onwenselijke situaties en risico's voor de gezondheid leiden (Bandyopadhyay 2024). De WHO heeft wel richtlijnen opgesteld voor waterkwaliteitsbeheersing van decentrale drinkzuiveringen, maar daarmee wordt niet het niveau van veiligheid bereikt die voor centrale drinkwaterbereiding haalbaar en verplicht is (WHO 2012). KWR heeft onderzoek gedaan naar tientallen raamwerken voor veilig decentraal drinkwater in Europa, waarbij deze raamwerken varieerden van één pagina tot documenten van honderden pagina's (Hulsman and Smeets 2011). Daarbij bleek dat de eisen die in diverse EU-landen aan waterveiligheid van decentrale systemen worden gesteld erg variëren en dat de veiligheid niet op hetzelfde niveau kan worden geborgd als bij centrale drinkwaterlevering.

De WHO heeft ook een testprogramma voor zuiveringstechnieken op huishoudniveau, waarbij de microbiologische effectiviteit wordt getest (WHO 2019). Hieruit blijkt dat apparaten niet altijd de beloofde veiligheid bieden. Bovendien worden slechts enkele nieuwe apparaten getest, waarmee de werking van alle geproduceerde apparaten en de betrouwbaarheid over de tijd niet getoetst wordt. Ook wordt het signaleren van afwijkingen in de werking of waterkwaliteit niet meegenomen in de beoordeling, noch de chemische waterkwaliteit.

Een extra aandachtspunt bij de opslag van grote hoeveelheden water is dat bassins een broedplaats voor muggen kunnen vormen, met alle bijbehorende overlast en gezondheidsrisico's, zeker bij stijgende temperaturen (Moglia et al. 2016). Die laatste hangen samen met pathogenen die door de muggen kunnen worden overgebracht.

5 Decentrale systemen in de praktijk – bevindingen van pilots en interviews

5.1 Onderzochte systemen

De meest gangbare organisatie van het watersysteem in Nederland is dat drinkwater wordt geleverd door een drinkwaterbedrijf, en afvalwater wordt ingezameld via een rioolstelsel, dat het vervolgens naar een afvalwaterzuiveringsinstallatie van een waterschap leidt. Daarnaast hebben industriegebieden soms hun eigen afvalwaterzuiveringsinstallatie. Tegenwoordig zien we een groei aan systemen die in combinatie hiermee functioneren. Vaak betreft het regenwateropvang en eventueel -zuivering, en afvalwaterzuivering met de optie tot hergebruik. In dit rapport gaan we in op de vraag hoe dergelijke systemen met elkaar functioneren vanuit het perspectief van chemische en microbiologische veiligheid. Daarnaast is gekeken wat dit betekent voor de duurzaamheid (een onderwerp dat voor veel gebruikers van dergelijke systemen erg belangrijk is), kosten en de impact van de systemen op het conventionele centrale systeem.

Onder ‘decentrale systemen’ verstaan we in dit rapport alle systemen die op een kleinere schaal wateropvang en/of -zuivering mogelijk maken dan via een drinkwaterbedrijf en afvalwaterzuivering door een waterschap. Dit varieert van opvang en behandeling op de schaal van een individuele woning tot wijkschaal.

In dit onderzoek zijn verschillende pilots en commerciële leveranciers van waterbehandelingssystemen bezocht en bevraagd. Een kort overzicht wordt hieronder gegeven. Voor een uitgebreid overzicht wordt verwezen naar Bijlage I.

- Regenwateropvangsystemen voor individuele woningen in Vlaanderen. Het is verplicht bij nieuwbouw of grote verbouwingen een dergelijk systeem te installeren. Regenwater wordt opgevangen, en met minimale zuivering gebruikt om bijvoorbeeld toiletten te spoelen of de was te doen.
- Mijn Waterfabriek levert kleinschalige zuiveringssystemen voor toepassing in individuele woningen. Er zijn verschillende systemen verkrijgbaar. ‘Comfortwater’ is opgevangen regenwater dat een beperkte zuivering ondergaat vóór toepassing als toiletspoeling, in de wasmachine of voor de buitenkraan. ‘Hygiënisch water’ wordt gedesinfecteerd, en is bedoeld om bijvoorbeeld mee te douchen, hoewel het officieel geen drinkwater is.
- Bewoners van een tiny house in Katwijk hebben hun eigen regenwatersysteem geïnstalleerd, waarbij met behulp van filters (o.a. actieve kool), UV-desinfectie en/of omgekeerde osmose van opgevangen regenwater ‘drinkwater’ voor eigen gebruik wordt gemaakt voor de gebruikelijke drinkwatertoepassingen.
- Het eiland Pampus is niet aangesloten op het centrale drinkwaternet, en wil graag zelfvoorzienend zijn. Water uit het IJmeer wordt gezuiverd met behulp van langzame zandfiltratie en nanofiltratie, waarna het met behulp van UV wordt gedesinfecteerd. Dit is officieel geen drinkwater, maar wordt wel beschreven als ‘drinkbaar water’. Het wordt voor diverse toepassingen gebruikt, maar niet voor consumptie.
- In Zeeland wordt afvalwater van een camping gezuiverd met behulp van biologische processen, dissolved air flotation (DAF) en UV/H₂O₂ om organische microverontreinigingen af te breken. Dit water wordt vervolgens als irrigatiewater in de plaatselijke landbouw toegepast. In de zomermaanden is hier lokaal veel water nodig voor zowel landbouw als het grote aantal toeristen.

- Superlocal is een grote pilot in de gemeente Kerkrade. Hier wordt zwartwater vergist om er biogas van te maken. Grijswater wordt met behulp van een helofytenfilter gezuiverd tot waswater dat kan worden gebruikt in een (centrale) wasserette of autowasstraat. Regenwater wordt centraal opgevangen en met behulp van de volgende processtappen gezuiverd tot drinkwater: rooster, kaarsenfilters, UF-filters, UV/O₃, filtratie over granulaire actieve kool, marmerfiltratie. Het drinkwater kan uiteindelijk worden gesuppleerd aan de reguliere drinkwatertoevoer naar het gebied. Op dit moment wordt nog geëxperimenteerd met de zuivering en wordt er geen drinkwater of waswater geproduceerd.
- Afvalwaterzuivering op wijksschaal in Oosterwold. In de pilot Oosterwold konden bewoners kiezen voor een centrale afvalwaterzuivering of een individuele. Dit laatste bleek in de praktijk zoveel problemen op te leveren, dat besloten is om op wijksschaal een afvalwaterzuivering te bouwen. Die is najaar 2024 geopend.

5.2 Onderzochte aspecten

In dit hoofdstuk worden diverse decentrale systemen, die op verschillende schalen worden toegepast, beschreven aan de hand van de volgende aspecten:

- Opvang- en behandelingssystemen voor regen- en afvalwater
- Continuïteit en kwaliteit van de bron
- Veiligheidsaspecten (gezondheid en blootstelling)
- Onderhoudsaspecten
- Gevolgen voor drinkwatergebruik en -kwaliteit
- Kosten
- Milieu-impact

5.3 Bevindingen van de praktijkcases en interviews

De beschouwing in dit hoofdstuk is gebaseerd op informatie uit de bestudeerde casussen, literatuur en kennis beschikbaar binnen KWR.

5.3.1 Decentrale systemen

Uit de internationale literatuur (hoofdstuk 4) over dit onderwerp blijkt dat decentrale zuiveringssystemen vooral worden toegepast in gebieden waar centrale systemen niet aanwezig zijn of lastig aan te leggen zijn. Uit het overzicht van de verschillende pilots in Bijlage 1 blijkt dat het technisch mogelijk is om diverse waterbronnen te gebruiken om er allerlei kwaliteiten water van te maken. Dit is in overeenstemming met het rapport van Witteveen en Bos (Phernambucq et al. 2023). Bij sommige systemen wordt geen of slechts een minimale zuivering toegepast (zoals een grof filter om bladeren te verwijderen), bij andere worden verschillende zuiveringsprocessen toegepast. Hierdoor zijn er grote verschillen in de waterkwaliteiten die kunnen worden gebruikt. De mate waarin een dergelijk zuiveringssysteem succesvol is (gedurende langere tijd zonder problemen functioneert en de beoogde waterkwaliteit levert), hangt sterk af van de betrokkenheid van de mensen die ermee om moeten gaan: zijn ze zich bewust van de risico's, wordt er voldoende onderhoud gepleegd, en zijn er middelen en materialen beschikbaar voor onderhoud en vervanging van de installaties of onderdelen daarvan? Dit is van toepassing op zowel drinkwater- als afvalwaterzuiveringsinstallaties. Hoewel voor dit type decentrale systemen de benodigde onderdelen in Nederland en Vlaanderen zeker beschikbaar zijn, is het belangrijk dat mensen zich bewust zijn van de noodzaak van onderhoud en vervanging van onderdelen als filters en UV-lampen, en zich realiseren wat de risico's

zijn van onvoldoende aandacht hiervoor. In dat opzicht is de situatie in Nederland en Vlaanderen niet wezenlijk anders dan die in andere landen.

In Vlaanderen was de oorspronkelijke reden om regenwater op te vangen bij individuele woningen het verlaagd naar het riool te kunnen afvoeren van dit regenwater en zo riooloverstorten en overlast te voorkomen. Dit doel is zeker gehaald, individuele opvangsystemen blijken hiervoor effectief. Omdat water toch moest worden opgevangen is besloten dat het ook gebruikt kan worden voordat het naar het riool wordt afgevoerd. In eerste instantie werd hierbij gedacht aan de buitenkraan, maar inmiddels is het ook bedoeld voor toiletspoeling en de wasmachine.

Voor campings en dergelijke zijn eigen decentrale grondwaterwinningen met eenvoudige zuiveringen in Nederland al langer gangbaar, maar steeds vaker ontstaan uit oogpunt van een duurzaamheidsideaal en/of in reactie op drinkwatertekorten lokale initiatieven die gebruik maken van andere bronnen zoals regenwater. Deze komen met enige regelmaat in het nieuws. In sommige gevallen verwachten mensen ook kosten te kunnen besparen door 'gratis' regenwater te gebruiken, of worden ze gedreven door een zekere mate van wantrouwen jegens de overheid en/of drinkwaterbedrijven.

Wat betreft afvalwater waren in 2016 23.000 woningen aangesloten op een individuele afvalwaterbehandelingen (IBA) en 21.000 woningen die water ongezuiverd lozen. Ongeveer de helft van de IBAs wordt door gemeenten beheerd. Het behandelde water wordt geloosd op oppervlaktewater, en niet hergebruikt.

5.3.2 Continuïteit en kwaliteit van de bron

In dit overzicht is gekeken naar opgevangen neerslag, grijswater en zwartwater als bron voor diverse kwaliteiten water. Grijs en zwartwater zijn in feite continu beschikbaar in de woonomgeving: mensen gebruiken elke dag water, en produceren dus ook elke dag afvalwater. Hoewel grijswater, afkomstig van bijvoorbeeld douche en wasmachine, vaak wordt beschouwd als relatief schoon, blijkt het soms bijna net zoveel pathogenen te bevatten als zwartwater (Sales-Ortells and Medema 2014, Sales-Ortells et al. 2015, Sales-Ortells and Medema 2015). Dit maakt dat veilig hergebruik hiervan in veel gevallen toch gepaard moet gaan met een bepaalde zuivering.

Regenwater is veel minder continu beschikbaar. Juist in warme periodes is er vaak ook droogte, waardoor er net dan minder water beschikbaar is. Bovendien moet ook rekening worden gehouden met het beschikbare oppervlak om hemelwater op te vangen. Vaak wordt in dit verband verwezen naar Vlaanderen, en welke toepassingen men daar voor regenwater heeft, maar hierbij wordt over het hoofd gezien dat een gemiddeld dakoppervlak in Vlaanderen anderhalf keer zo groot is als in Nederland, waardoor dus veel meer water kan worden opgevangen en gebruikt. Bovendien blijkt uit de literatuur dat regenwater, net als grijswater, ongeveer net zoveel pathogenen kan bevatten als zwartwater (afkomstig van uitwerpselen van dieren op de daken) (Sales-Ortells and Medema 2014, Sales-Ortells et al. 2015, Sales-Ortells and Medema 2015).

5.3.3 Gezondheidsrisico's en waterkwaliteitsmonitoring; microbiologische risico's

Veel waterbehandelingsinstallaties zijn in principe geschikt voor hun doel, maar gebrekkig onderhoud van installaties kan gezondheidsrisico's met zich meebrengen (zie ook paragraaf 5.3.7). Dit geldt voor het te laat vervangen van UV-lampen, koolfilters of membraanfilters, of het onvoldoende reinigen van buffertanks. Hollander et al. (1996) concludeerden dat opgevangen regenwater zeker pathogenen kan bevatten, maar dat in meer dan 95 % van de 102 onderzochte gevallen het water geschikt zou zijn om mee te douchen. Het kan echter niet worden uitgesloten dat mensen tijdens douchen toch water binnen krijgen. Zeker bij kwetsbare personen zou dat gevolgen kunnen hebben. Ook wijzen deze auteurs erop dat het van cruciaal belang is kruisverbindingen met de drinkwaterleiding te voorkomen.

Bij blootstelling aan verschillende waterkwaliteiten kunnen gezondheidsrisico's ontstaan, waarbij microbiologische risico's het meest relevant zijn. Voor irrigatie zoals bij casus Superlocal, het eiland Pampus, en de camping in Zeeland), zijn door de EU normen opgesteld (European Union 2020), en in Annex II hiervan wordt voor chemische risico's verwezen naar andere wetgevingen.

Drinkwaterbedrijven tonen de veiligheid van drinkwater onder andere aan via een uitgebreide kwantitatieve microbiologische risicoanalyse in een Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD). Hierbij worden met vastgestelde frequenties diverse parameters gemeten, en wordt in combinatie met aanvullend onderzoek en informatie voldoende verwijdering van fecale ziekteverwekkers zelf bepaald, waarmee de waterkwaliteit continu wordt bewaakt. Voor waterkwaliteitsbeoordeling wordt gekeken naar *E. coli*, intestinale enterokokken, *Cryptosporidium*, (entero)virussen, *Giardia*, *Campylobacter*, bacteriofagen en *Legionella*, zoals aangegeven in het Drinkwaterbesluit.

Het is erg duur om pathogenen te analyseren, en daarom worden het bij kleinschalige systemen vaak andere micro-organismen gemeten, die eenvoudiger en goedkoper geanalyseerd kunnen worden. Dit zijn zogenaamde indicatororganismen voor fecale verontreiniging, die drinkwaterbedrijven ook meten. Die zijn echter niet hetzelfde als de fecale pathogenen die mensen kunnen infecteren. Dit betekent dat metingen aan fecale (indicator)organismen onvoldoende borging geven dat aan de grenswaarde voor fecale pathogenen wordt voldaan. Daarbij moet ook worden bedacht dat fecale indicatororganismen zoals *E. coli* en enterokokken in een zuiveringsproces gemakkelijker worden verwijderd dan veel fecale ziekteverwekkende virussen en protozoa.

De drinkwaterbedrijven monitoren het drinkwater ook op *Legionella* en die aantallen moeten beneden de wettelijke norm van 100 kve/l zijn. Deze norm is echter niet direct gekoppeld aan een gezondheidsrisico, zoals het fecale infectierisico van 1 op 10.000 mensen per jaar. Daarnaast moeten prioritaire instellingen een legionellabeheersplan hebben voor het drinkwatersysteem, waarin ook routinematig monitoren van *Legionella* is opgenomen en waarbij dezelfde norm van 100 kve/l geldt (Nederlandse Overheid 2021).

Voor kleine systemen is het meestal niet haalbaar dergelijke analyses uit te voeren en vertrouwt men vaak op enkele analyses die afwezigheid van fecale indicatororganismen in 100 ml aantonen, zoals bleek uit het onderzoek naar de casussen. De aangetoonde veiligheid is daarmee een factor 100.000 lager dan die van drinkwater. Er is nog geen duidelijkheid of deze beperkte borging van de veiligheid acceptabel is vanuit het oogpunt van volksgezondheid. Bovendien vinden deze analyses meestal incidenteel plaats, bij voorbeeld bij installatie van het systeem, maar geven ze geen garanties voor de langere termijn of voor toepassing van een dergelijk systeem op andere locaties.

De meeste kleinschalige zuiveringen zijn niet bedoeld om er drinkwater mee te produceren. In Vlaanderen wordt het opgevangen regenwater niet of nauwelijks gezuiverd voor gebruikt. Er wordt ook expliciet aangegeven dat het opgevangen regenwater geen drinkwater is, en dat het ook niet mag worden gebruikt voor douchen of de vaatwasser, maar uit interviews bleek dat dit toch regelmatig wel gebeurt, omdat mensen niet begrijpen dat dit risico's met zich meebrengt.

In de casus Mijn Waterfabriek worden twee kwaliteiten water geproduceerd. Comfortwater is alleen bedoeld voor toiletspoeling, de buitenkraan en de wasmachine, en hier worden geen testen aan gedaan. Hygiënisch water zou volgens de leverancier bijvoorbeeld ook voor de douche of bij bedrijven voor schoonmaak, koeling en bedrijfsprocessen kunnen worden gebruikt. Bij installatie wordt dit water microbiologisch getest op bacteriën van de coligroep, het koloniegetal, legionella en enterococci, maar dit biedt geen garantie voor het functioneren van de installatie op langere termijn. Bovendien worden dus ook hier geen fecale pathogenen getest. Aangezien het geen drinkwater betreft hoeft dit geen probleem te zijn, al is er wel sprake van een blootstellingsrisico bij het gebruik als bad- en douchewater.

Bij het Tiny House is eveneens getest op het koloniegetal, bacteriën van de coligroep en enterokokken (maar geen legionella), en leek het monster aan de eisen van het Drinkwaterbesluit te voldoen. Dit betrof echter een eenmalige meting, die geen garanties geeft voor de toekomst (dit is de reden dat voor drinkwater een AMVD vereist is). *Legionella* en *Aeromonas* zijn niet gemeten. Hierdoor kan niet met zekerheid worden gesteld dat het water microbiologisch gezien altijd aan de eisen van het Drinkwaterbesluit voldoet. Bovendien is het ATP-gehalte, dat een maat is voor het gehalte aan actieve biomassa, hoger dan normaal bij drinkwater. Aangezien dit water wel als

drinkwater wordt gebruikt, houdt het ontbreken van een AMVD zeker een gezondheidsrisico in, en geven de uitgevoerde testen een vals gevoel van veiligheid.

Bij Superlocal is het wel de bedoeling om van opgevangen regenwater drinkwater te maken, maar dit valt onder verantwoordelijkheid van het drinkwaterbedrijf zelf. Dat is nog met ILT in gesprek of hiervoor een AMVD nodig is, omdat dit voor deze kleine schaal per m³ geleverd drinkwater erg kostbaar zal zijn. Op dit moment zijn er echter nog onvoldoende data beschikbaar om hier iets over te kunnen zeggen, en is er ook nog geen regenwater gezuiverd tot drinkwater.

Op het eiland Pampus wordt het behandelde water regelmatig gecontroleerd op koloniegetal, bacteriën van de coligroep en enterococci. Ook hier dus niet op pathogenen, maar aangezien het water ook niet voor consumptie of douchen wordt gebruikt, zal het weinig risico opleveren. Overigens bleek uit een analyse dat het koloniegetal hoger was dan verwacht, en de installatie dus nog goed moet worden ingeregeld.

Bij de casus Zeeland (campingwater dat na behandeling wordt gebruikt in de landbouw) vinden geen analyses plaats, maar zijn ook geen normen gesteld, en lijken de gezondheidsrisico's beperkt. Het hangt dus helemaal af van de toepassing, maar in die gevallen waarbij gezondheidsrisico's bestaan, kan het uitvoeren van een beperkte analyse van microbiologische parameters een vals gevoel van veiligheid geven.

5.3.4 Blootstellingsrisico's

Blootstelling aan fecale ziekteverwekkers is het hoogst via drinken en bij ander gebruik meestal lager, maar hangt ook af van de toepassing (douchen, tuin sproeien, wasmachine, toiletspoeling). Blootstelling aan opportunistische ziekteverwekkers zoals *Legionella* is het hoogst via verneveling (douchen, tuin sproeien) en meestal lager via andere routes (drinken, wasmachine, toiletspoeling). Het is nog niet vastgesteld of een hogere concentratie fecale ziekteverwekkers acceptabel zou kunnen zijn voor deze andere toepassingen, bijvoorbeeld in de orde van 1 fecale ziekteverwekker in 1.000 liter bij een blootstelling van 1 ml per dag.

Bij proefprojecten heeft De Watergroep nooit *Legionella* aangetroffen, maar in onderzoek van KWR naar regenwateropvangsystemen is wel eens *Legionella* in een regenwaterreservoir aangetroffen (Hofman-Caris et al. 2024). In regenwaterleidingen die zich binnenshuis bevinden kan meer groei van micro-organismen worden verwacht dan in drinkwaterleidingen binnenshuis, omdat er meer organische stof in het regenwater kan zitten, afkomstig van het oppervlak waarover het regenwater is opgevangen. Hiernaar is nog weinig onderzoek gedaan.

Een belangrijk gezondheidsrisico wordt veroorzaakt door kruisverbindingen die kunnen optreden als er meerdere watersystemen in huis naast elkaar bestaan. Naast verontreinigingen binnenshuis kan dit leiden tot verontreiniging van het centrale drinkwaternet met vervuild water, wat in de Vlaamse situatie enkele keren per jaar voor kan komen, en wat begin deze eeuw in de casus Leidsche Rijn gebeurde. Hierbij is het mogelijk dat niet een enkel huishouden, maar een hele straat of wijk worden benadeeld. Of er daadwerkelijk gezondheidsrisico's optreden hangt af van de kwetsbaarheid van de bewoners. Wanneer het bijvoorbeeld gaat om een verpleeghuis, kunnen de gevolgen van een verontreiniging via vervuild water met fecale ziekteverwekkers of biologische afbreekbare verbindingen, die tot verhoogde groei van opportunistische ziekteverwekkers kunnen leiden, groot zijn.

Een overzicht van zogenaamde C-meldingen ('potentieel ernstige bedreigingen voor de volksgezondheid') bij de toezichthouder drinkwater in Vlaanderen en de relatie met kruisverbindingen is weergegeven in Tabel . Op basis van deze tabel lijkt het aantal kruisverbindingen dat voor meldingen zorgt relatief klein te zijn, maar het is op basis hiervan niet vast te stellen hoeveel mensen risico hebben gelopen. Bovendien worden dergelijke kruisverbindingen alleen opgemerkt als er klachten ontstaan, dus het werkelijke aantal kan groter zijn. Nadat er klachten waren binnengekomen over waterkwaliteitsproblemen in Oostakker in 2017, heeft het drinkwaterbedrijf onderzoek gedaan naar 427 woningen. Er werd vastgesteld dat 71 van deze woningen geen functionerende terugslagbeveiliging hadden, en dat er bij 22 woningen sprake was van een kruisverbinding (Hermans et al. 2023).

Tabel 8: Aantallen C-meldingen bij de toezichthouder drinkwater in Vlaanderen en relatie met kruisverbindingen (Hermans et al. 2023, Vlaamse Milieumaatschappij 2023)

Jaar	Aantal meldingen	Door kruisverbindingen	bron
2017	9	4	VMM Kwaliteit van drinkwater 2017 p 108
2018	13	1	VMM Kwaliteit van drinkwater 2018 p 92
2019	15	2	VMM Kwaliteit van drinkwater 2019 p 96
2020	11	1	VMM Kwaliteit van drinkwater 2020 p 96
2021	12	--	VMM Kwaliteit van drinkwater 2021 p 102
2022	15	1	VMM Kwaliteit van drinkwater 2022 p 121

In Nederland heeft zich in 2001 in Leidsche Rijn een vergelijkbaar incident voorgedaan, waarbij huishoudwater per ongeluk in het drinkwaterleidingnet werd gepompt, en er ook enkele kruisverbindingen aanwezig bleken te zijn (Tangena 2018). Dit heeft geleid tot meerdere ziektegevallen met fecale ziekteverwekkers, en wetgeving die uit voorzorg de centrale levering van huishoudwater aan banden legde. Destijds is dus niet beleidsmatig vastgesteld hoeveel gezondheidsrisico aanvaardbaar wordt geacht bij projecten waar door meerdere huishoudens huishoudwater wordt gebruikt.

Wanneer er geen verbinding is met het centrale leidingnetwerk, zoals bij in dit rapport beschreven onderzoek bezochte casus van het tiny house, is er geen risico op verontreiniging van het centrale drinkwaternet. Hierdoor blijven eventuele besmettingen beperkt tot een kleine groep mensen (eigenaars, hun medebewoners en hun gasten).

De continuïteit van de bron is een belangrijke factor om rekening mee te houden. Indien die niet gewaarborgd is, kunnen meerdere bronnen naast elkaar worden gebruikt, wat gevolgen kan hebben voor de kwaliteit. Zo blijft het feit dat Nederlandse daken vaak te klein zijn om er veel c.q. genoeg regenwater mee op te kunnen vangen voor de beoogde toepassingen vaak buiten beschouwing. Bij de casus van het tiny house (zie Bijlage I.III) wordt dit probleem opgelost door ook water van een metalen afdak op te vangen en te zuiveren. Analyseresultaten zijn weergegeven in Tabel 3. Hoewel de microbiologische waterkwaliteit goed is bij deze eenmalige meting, geeft deze bepaling geen garanties voor de toekomst.

5.3.5 Gezondheidsrisico's en waterkwaliteitsmonitoring; chemische risico's

Naast microbiologische parameters, worden in het Drinkwaterbesluit ook chemische parameters aangegeven. Meestal zijn de gevolgen voor de volksgezondheid hierbij minder acuut dan bij microbiologische parameters, maar bij langdurig gebruik zijn ze zeker ook belangrijk.

Wanneer water microbiologisch gezien geschikt lijkt om te drinken, kan het ook op basis van chemische parameters afwijken van de normen in het Drinkwaterbesluit. Chemische parameters die in het Drinkwaterbesluit zijn opgenomen, worden doorgaans niet geanalyseerd in gezuiverd regenwater. Hoewel de kans dat chemische verontreinigingen in regenwater terechtkomen kleiner is dan in oppervlaktewater, kan niet worden uitgesloten dat verontreinigingen uit de dakbedekking, industrie, landbouw of het verkeer via het dak in het regenwater terechtkomen, en vervolgens in het (drink)water. Tijdens periodes van droogte verzamelen zich veel verontreinigingen op daken, afhankelijk van het dakmateriaal, de windrichting en de omgeving. Wanneer het daarna begint te regenen, bevat de eerste hoeveelheid opgevangen regenwater relatief veel van deze

verontreinigingen. Weggooien van deze *first flush* (de eerste hoeveelheid opgevangen regenwater) maakt dit risico kleiner.

Ook kan regenwater vrij agressief zijn door relatief lage pH en hardheid. Wanneer bijvoorbeeld (een deel van) het dak uit metalen platen bestaat, kan dit ongewenste metalen oplossen. Dit kan bijvoorbeeld bij het tiny house het geval zijn, waar water met een lage pH (6,74) en hardheid vanaf een metalen afdak werd opgevangen, omdat de dakoppervlakte van het huisje zelf te klein was. Wat betreft het ammonium-, nitraat- en nitrietgehalte voldeed het water aan de drinkwaternormen, maar op metalen is het niet getest. Het is voor dergelijke toepassingen belangrijk om na te gaan of het metaalgehalte en het gehalte aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) van een bitumen dak en de verontreiniging met poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS) of andere milieuverontreinigingen in het opgevangen regenwater niet (te) hoog is. De waterkwaliteit wordt echter niet continu gemeten, en er wordt ook slechts een beperkt aantal componenten geanalyseerd (zie Tabel 3 in paragraaf I.III). De resultaten bieden daarmee dus geen veiligheidsgarantie.

5.3.6 Onderhoud en bedrijfsvoering

Onderhoud van decentrale systemen is de verantwoordelijkheid van de eigenaren ervan. Onderhoud is echter relatief duur, en veel mensen zien het belang er niet voldoende van in. Omdat er nog geen geschikte sensoren zijn om de waterkwaliteit realtime te volgen, moeten bepaalde onderdelen preventief vervangen worden, voordat er te veel slijtage of veroudering is opgetreden. Dat geldt bijvoorbeeld voor UV-lampen, waarvan bekend is dat de output in de loop van de tijd afneemt. Ook is bekend dat ultrafiltratiemembranen bij veroudering meer virussen en bacteriën doorlaten (Gowda et al. 2025). Vezelbreuk treedt op bij gebruik van UF membranen (door verschillende mechanismen). Hoe langer ze in bedrijf zijn, hoe vaker dat optreedt, maar er is geen veilige en betaalbare manier om te zien wanneer dat gebeurt en wanneer dit tot een gezondheidsrisico kan leiden.

Uit de praktijk blijkt dat het lastig kan zijn betrokkenen bewust te maken van de gevolgen van hun activiteiten op onder andere de waterkwaliteit van een alternatieve bron en daarmee op het functioneren van de zuivering. Bij Superlocal (zie paragraaf I.VI) is bijvoorbeeld gebleken dat, ondanks de aanwezigheid van een groot aantal informatieborden, betrokkenen soms geen verband te leggen tussen hun gedrag (bijvoorbeeld de hond uitlaten bovenop een rooster voor de regenwateropvang) en de gevolgen daarvan voor de kwaliteit van het opgevangen regenwater (en dus ook voor de eventuele drinkwaterproductie). Uit de afvalwatercasus in Superlocal kan ook geconcludeerd worden dat het erg belangrijk is dat betrokkenen direct geconfronteerd worden met de gevolgen van hun activiteiten. Het bewustzijn dat voedselvermalers stuk gaan als er verkeerde materialen in gegooid worden treedt pas op als men daar direct zelf de nadelen van ondervindt, niet als de problemen verderop in het systeem ontstaan of pas later tot uiting komen. Als gevolg van storingen in het systeem is het daardoor tot nu toe niet mogelijk geweest om bij Superlocal het zwarte afvalwater te vergisten.

Een ander leerpunt in Superlocal is dat het heel belangrijk is goede, uitgeteste en geoptimaliseerde apparatuur te installeren, en dat de uitdrukking 'goedkoop is duurkoop' in dit soort gevallen zeker van toepassing is. Vrijwel alle systemen bij Superlocal, voor drinkwater, grijs- en zwartwater, blijken te kampen met veelvuldig optredende technische storingen. Dergelijke problemen zijn ook genoemd bij andere pilots zoals het Tiny House waar de UV desinfectie enkele keren moest worden vervangen en storingen aan pompen optraden door verontreinigingen. Ook in onderzoeksprojecten van De Watergroep met decentrale drinkwaterzuivering traden veelvuldig storingen op aan de geteste apparatuur. Anderzijds verloopt de zuivering op Pampus met weinig tot geen storingen. Belangrijke factor daarbij lijkt de directe betrokkenheid van de ontwerpers en leveranciers van het systeem die veel expertise hebben, en sterke betrokkenheid van de technisch bedrijfsvoerder ter plaatse.

Een ander risico bij onderhoud treedt op bij het onderhoud van ondergrondse buffertanks. Vaak verzamelen zich organisch materiaal en zand op de bodem, en ook kan er aangroei aan de wanden plaatsvinden. Om geur- en stankproblemen en gezondheidsrisico's bij het gebruik van het water te voorkomen, moet de tank af en toe worden gereinigd. De benodigde frequentie is afhankelijk van het type put, de (regen)waterbron en de omgeving. Voor reiniging moet de buffer worden leeggemaakt. Er kunnen echter giftige gassen worden gevormd onderin de buffer,

en er zijn voorbeelden bekend van mensen die in zo'n buffertank zijn geklommen om hem schoon te maken maar daarbij onwel zijn geworden. Ook hier speelt bewustwording een heel belangrijke rol.

Een groot voordeel van de casus in Pampus is dat de verantwoordelijkheid van het hele systeem ligt bij partijen die heel goed beseffen wat de mogelijke gezondheidsrisico's zijn, en hierdoor niet bezuinigen op onderhoud. Dit is mede mogelijk doordat het systeem niet op de schaal van één huishouden is ontworpen, maar op een grotere schaal en doordat de leverancier en betrokken partijen kosteloos participeren in het project. Ook in het geval van de casus Superlocal is de verantwoordelijkheid bij professionele partijen neergelegd (drinkwaterbedrijf WML en Waterschap Limburg).

5.3.7 Waarborgen van waterkwaliteit bij decentrale systemen

Bij toepassing van een systeem voor het gebruik van regenwater (of grijswater) op huishoudenniveau is het essentieel om zeker te zijn dat de waterkwaliteit betrouwbaar is én blijft. Bij ander gebruik dan drinkwater moet voorkomen worden dat de drinkwaterleiding per ongeluk aan die andere waterleiding gekoppeld wordt. Bij gebruik als drinkwater zouden dezelfde eisen moeten gelden die gesteld worden aan centraal geproduceerd drinkwater. Als een drinkwaterbedrijf hier verantwoordelijkheid voor neemt (zoals in het geval van het onderzoek in Vlaanderen (paragraaf I.I) en Superlocal (paragraaf I.VI)), is de veiligheid te waarborgen.

Afgezien van zwakke punten in de installaties, vormen bij kleinschalige systemen vooral de analysekosten een groot punt van zorg. Deze zijn doorgaans (veel) hoger dan €10.000,- per jaar. Het risico is dan aanwezig dat deze metingen slechts incidenteel worden uitgevoerd, niet representatief zijn voor de toekomst en/of relatief weinig parameters worden getest. Voor een drinkwaterbedrijf is het niet mogelijk die verantwoordelijkheid op grote schaal voor verschillende huishoudens en voor verschillende systemen op zich te nemen. Dit zou immers leiden tot een enorme toename in het aantal monsters dat genomen en geanalyseerd zou moeten worden. Sensoren, die online de waterkwaliteit kunnen meten, zouden hiervoor een oplossing bieden.

Afwezigheid van *E. coli* in 100 ml water na zuivering wordt door de gebruikers van alternatieve systemen gezien als bewijs dat de zuivering goed werkt en het water veilig is. Om *E. coli* te meten kan gebruik worden gemaakt van sensoren. De gevoeligheid van dergelijke metingen is op dit moment echter beperkend, omdat deze ongeveer honderd keer hoger dan de drinkwaternorm van 1 *E. coli* per 100 ml ligt. *E. coli* geeft bovendien alleen een indicatie van fecale verontreiniging. Het meten van fecale ziekteverwekkers in drinkwater om aan het wettelijk aanvaardbaar gezondheidsrisico van één infectie per 10.000 mensen per jaar te voldoen is vrijwel onmogelijk. Het gaat dan om de orde van één fecale ziekteverwekker in een miljoen liter drinkwater, wat met de huidige methodieken niet aantoonbaar is.

Daarnaast zegt de afwezigheid van *E. coli* in 100 ml water na de zuivering niets over het risico op groei van opportunistische ziekteverwekkers zoals *Legionella*. Deze opportunistische ziekteverwekkers groeien in het water en deze groei wordt verhoogd wanneer het water te veel biologisch afbreekbare stoffen bevat. Ook bij gebruik van hygiënisch water en huishoudwater kan niet worden uitgesloten dat mensen een kleine hoeveelheid water binnenkrijgen.

Humane fecaliën worden in het opgevangen regenwater van daken niet verwacht, maar grijswater en regenwater bleken in enkele studies ongeveer evenveel pathogenen te bevatten als zwartwater (Sales-Ortells and Medema 2014, Sales-Ortells et al. 2015). Aanwezigheid van dieren (vogels, katten, ratten) kunnen leiden tot zoönosen (ziekteverwekkers die zowel mensen als dieren infecteren) in het opgevangen regenwater. Dit betekent dat voor gerecycled water eigenlijk altijd een goede desinfectie moet worden toegepast.

Bij de casus Superlocal is het streven om van het opgevangen regenwater drinkwater te maken. Hiervoor wordt een ultraviolet/ozon (UV/O₃)-proces toegepast met als doel desinfectie en afbraak van microverontreinigingen (OMV). Zhang et al. (2023) en Krakkó et al. (2021) bevestigen dat het UV/O₃-proces met een lage druk UV-lamp effectief is voor desinfectie van water, hoewel de laatste onderzoeksgroep expliciet aangaf dat voor de afbraak van organische microverontreinigingen (OMV) een relatief hoge UV-dosis nodig was van 1.200 mJ/cm² voor 185 nm en 6.600

mJ/cm² voor 254 nm (deze UV-dosis is veel hoger dan de voor desinfectie van drinkwater gebruikelijke 20 – 70 mJ/cm²).

Nieuwe inzichten geven aan dat desinfectie met behulp van ultrafiltratie (UF), zoals toegepast bij Mijn Waterfabriek en bij de decentrale drinkwaterproductie in Vlaanderen, in de praktijk minder effectief blijkt te zijn dan eerder in laboratoriumproeven en pilots is aangetoond. Bij systemen in de praktijk blijken er lekkages op te treden in aansluitingen. Op termijn blijken ook beschadigingen aan het membraan tot lagere effectiviteit te leiden zonder dat dit met (online) metingen wordt opgemerkt (van Bel and Hornstra 2022, Harmsen et al. 2024). Bij meerdere aansluitingen of het opvangen van regenwater van maaiveld kan door kruisverbindingen in de riolen of ontlasting op het maaiveld besmetting plaatsvinden.

Een aandachtspunt voor hygiënisch water van de casus Mijn Waterfabriek is de saturatieindex (SI), die gemiddeld gedurende het jaar groter dan -0,2 pH eenheden moet zijn om het oplossen van koperen leidingen van drinkwaterinstallaties te voorkomen en kalkafzetting tegen te gaan. Daarnaast is de eerder genoemde mogelijke bevordering van biofilmvorming en legionellagroei door het hogere organische stofgehalte ten opzichte van kraanwater een aandachtspunt (Kim and Han 2011, Van Der Merwe et al. 2013, Du et al. 2019).

Op het eiland Pampus is geen drinkwatervoorziening aanwezig. Hier wordt water uit het IJmeer gezuiverd voor allerlei gebruik behalve consumptie. De hier toegepaste zuivering zou in principe geschikt kunnen zijn om drinkwater te maken, maar om dat vast te stellen zou een AMVD moeten worden uitgevoerd, zouden de concentraties OMV gemeten moeten worden, en is er aandacht nodig voor de robuustheid van het systeem. De benodigde analyses hiervoor zijn echter (veel) te kostbaar voor de beheerder en/of het eiland. Uit de metingen die wel zijn uitgevoerd (zie Tabel 4) kan worden geconcludeerd dat het water een te hoog koloniegetal kan bevatten om voor drinkwater in aanmerking te mogen komen. Op dit moment wordt in het kader van borging van de waterkwaliteit vooral gekeken naar de UV-T sensor, en wordt het water één keer per maand microbiologisch bemonsterd op *E. coli* (wat geen volledig beeld geeft voor voldoende inactivatie van ziekteverwekkers in het algemeen). Een groot voordeel van de casus Pampus is dat het water voor consumptie niet via een leidingstelsel wordt aangeleverd, waardoor kruisverbindingen niet voorkomen.

Water uit alternatieve bronnen kan ook gebruikt worden voor andere toepassingen dan drinkwater of huishoudelijk gebruik. Een voorbeeld daarvan is beschreven in paragraaf I.V (de casus van de camping in Zeeland), waar behandeld afvalwater wordt gebruikt in de landbouw. Bij goede toepassing van de technieken kan dit problemen met de beschikbaarheid van water(bronnen) verkleinen, zonder nadelige gevolgen te hebben voor de volksgezondheid. Bij een camping in Zeeland wordt het regenwater van het terrein opgevangen en zoveel mogelijk langs de zuivering geleid. Er is echter geen garantie dat dit water niet verontreinigd is met ziekteverwekkers en met stoffen afkomstig van het verkeer. Er wordt continu gemonitord op afgeleide parameters, zoals het zuurstofgehalte, pH en troebelheid. Voor toepassing in de landbouw is een minder uitgebreid en minder kostbaar monitoringsprogramma vereist dan voor drinkwatertoepassing, en agrariërs in de omgeving waren al gewend rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI)-effluent te gebruiken voor hun teelt. Er is nu echter EU-wetgeving voor het gebruik van afvalwater in de landbouw, waarin risicobeheersing centraal staat en mogelijk meer verplichtingen met zich meebrengt, waardoor deze praktijk niet meer mogelijk is. Het gezuiverde water van de camping mag wel worden gebruikt. Een andere toepassing is het besproeien van sportvelden.

Eigen grijswater- en zwartwaterzuivering blijken in de praktijk lastig op kleine schaal. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de casus Oosterwold, een woongebied in ontwikkeling in de buurt van Almere, waarbij de verantwoordelijkheid voor beheersing van het systeem bij de bewoners werd gelegd. De eerste bewoners konden kiezen voor een collectief afvalwatersysteem of een individueel systeem (individuele afvalwater behandelingen, IBA's) (Oosterwold 2024). De keuze voor individuele systemen leverde problemen op met de waterkwaliteit van het behandelde water. Eerder was al bekend dat de meerderheid van IBA's niet zodanig functioneert dat aan lozingseisen kan worden voldaan (Verleun et al. 2013). Inmiddels mogen de bewoners van Oosterwold hun afvalwater dan ook niet meer zelf zuiveren, en is de gemeente verantwoordelijk geworden voor de afvalwaterzorg. Medicijnresten zullen nu ook worden verwijderd. Hiervoor is een tijdelijke RWZI gebouwd. Het afvalwater wordt vervolgens op de reguliere grote

RWZI geloozd. Uit de casus Superlocal blijkt eveneens dat problemen met de inzameling en verwerking van zwart en grijswater zelfs niet voorkomen worden als alles onder toezicht van het waterschap plaatsvindt. Er zijn mogelijkheden om zwart en grijswater op een verantwoordelijke manier te gebruiken, zo lang er duidelijke afspraken worden gemaakt over de verantwoordelijkheid en dat er mensen en partijen worden betrokken met kennis van het onderwerp. Dit geldt zowel voor grijs- en zwartwater, als voor drinkwatersystemen. Maar als de verantwoordelijkheid ergens in de keten bij individuele bewoners wordt neergelegd, vormt dit een risico voor het systeem.

De leveranciers van decentrale zuiveringssystemen zijn zich terdege bewust van deze nadelen, en proberen die zoveel mogelijk te voorkomen. De Expertgroep Circulair Water van de Water Alliance (zie ook paragraaf 1.110) heeft onlangs een aantal voorstellen gedaan om de veiligheid van decentrale waterzuiveringssystemen beter te waarborgen.

5.3.8 Consequenties van decentraal hergebruik voor het centrale drinkwatersysteem

Drinkwaterbedrijven luiden regelmatig de noodklok dat er te weinig water beschikbaar is, en dat mensen bezuinigen op hun kraanwaterverbruik. Eén van de oplossingen die veel mensen zien is het gebruik van regen- en eventueel grijswater voor toepassingen waarvoor geen drinkwaterkwaliteit noodzakelijk is. Voor drinkwaterbedrijven kan decentrale toepassing van (hemel)water echter ook negatieve gevolgen hebben. Het gemiddelde gebruik van kraanwater neemt aanzienlijk af, omdat regenwater een deel van de tijd in de behoefte voor huishoudwater (of zelfs drinkwater) kan voorzien. De piekfactor wordt echter significant groter dan de huidige piekfactor, omdat juist in droge periodes, waarin mensen toch al geneigd zijn meer water te gebruiken, ook nog de buffertanks leeg raken en weer aangevuld moeten worden vanuit het drinkwaternet. Bovendien worden mogelijk meer aansluitingen gerealiseerd op basis van de gemiddelde capaciteit, waardoor ook de piekvraag hoger wordt dan de huidige. Dit kan tot tijdelijk onvoldoende watervoorziening leiden door beperkingen in de infrastructuur. In Vlaanderen zijn al situaties voorgekomen waarbij onvoldoende water kon worden geleverd tijdens piekvragen en dorpen tijdelijk zonder water zaten. Dit leidt dus mogelijk tot een toename van de ondermaatse leveringsminuten.

De infrastructuur en zuiveringsinstallaties van het drinkwaterbedrijf moeten daarom minimaal de huidige capaciteit kunnen leveren, plus eventuele extra aansluitingen die door de besparing mogelijk zijn geworden.

5.3.9 Kosten

De prijs die consumenten voor drinkwater betalen is opgebouwd uit een aantal factoren:

- Vaste kosten voor het beheer en het onderhoud van de waterleidingen
- Belasting op leidingwater
- Watergebruik, kosten per gebruikte m³ water
- BTW

De huidige kosten van drinkwater worden voor een groot deel bepaald door (her)investeringskosten in de processen en netwerken. Die kunnen niet kleiner worden, of moeten zelfs groter worden, vanwege de toegenomen piekfactor. De inkomsten voor het waterbedrijf nemen echter af bij een significante afname van de drinkwatervraag, waardoor kosten en baten niet meer met elkaar in evenwicht zijn. Dit leidt al een paar jaar tot financiële verliezen bij De Watergroep (De Watergroep 2024). In het huidige systeem zou een aanpassing in tariefstructuur dan nodig zijn om kostendekkend te kunnen blijven opereren, waarbij vastrechtkosten in principe zouden moeten toenemen. Dit zou dan leiden tot een lagere financiële besparing voor huishoudens met een regenwatervoorziening aangezien zij de aansluiting op het drinkwaternet nodig hebben in droge periodes.

De kosten van de in de pilots gebruikte systemen variëren sterk, maar zijn, als uitgedrukt in euro's per kuub, in alle gevallen hoger dan de drinkwaterprijs. Voor meer details, zie Bijlage I. Het meest eenvoudige systeem om bijvoorbeeld regenwater te gebruiken voor toiletspoeling, zoals het Vlaamse regenwateropvangsysteem zonder waterbehandeling, is op dit moment ongeveer een factor 5 tot 10 duurder dan kraanwater (gemiddeld €1,62/m³

(VEWIN 2023)). De kosten hangen samen met de hoeveelheid regenwater die gebruikt kan worden, en nemen af naarmate meer regenwater wordt gebruikt. De hoeveelheid regenwater die gebruikt kan worden, wordt beperkt door de hoeveelheid regen die valt en het dakoppervlak. Gemiddeld is een Nederlands dakoppervlak 60 m², terwijl voor een Vlaams dak 90 m² kan worden aangehouden². Dit betekent dat er in Nederland over het algemeen minder water kan worden opgevangen en gebruikt, waardoor de kosten relatief hoog zijn.

De totale kosten voor individuele inzameling én zuivering van afvalwater door middel van IBA's bedroegen in 2015 ongeveer € 650 per jaar voor IBA-II-systemen die lozen in oppervlaktewater tot ongeveer € 900 voor IBA-III-systemen die lozen in de bodem. De kosten waren ongeveer gelijk verdeeld over rente/afschrijving en beheer (van Esch and van der Eem 2015).

5.3.10 Duurzaamheid

Duurzaamheid wordt door de Brundtland-commissie van de Verenigde Naties gedefinieerd als: **“voldoen aan de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen”**. Vaak wordt dit in één adem genoemd met milieu-impact: alle kwalitatieve, kwantitatieve en functionele veranderingen, positief of negatief, in het milieu veroorzaakt door een project, proces, procedé, organisme of product, vanaf het ontwerp tot het einde van het leven. De milieu-impact wordt vaak vastgesteld aan de hand van een levenscyclusanalyse (LCA). Vaak wordt hierbij gekeken naar de uitstoot van broeikasgassen (samengevat als ton CO₂), maar hierbij worden belangrijke andere milieueffecten, zoals de uitputting van grondstoffen, aantasting van de ozonlaag, toxiciteit en dergelijke, over het hoofd gezien. Dergelijke invloeden kunnen wel worden meegenomen als de impact anders wordt berekend, bijvoorbeeld in de vorm van ecopunten. Hierbij kunnen wegingsfactoren worden toegepast, waarmee ook tot één enkelvoudige score ('single score') kan worden gekomen.

Een belangrijke parameter bij het uitvoeren van een LCA is het vaststellen van de systeemgrenzen. Verschillende processen of producten vergelijken vanuit verschillende studies is niet altijd mogelijk, omdat eerst moet worden vastgesteld dat dezelfde wegingsfactoren zijn toegepast, en dat de systeemgrenzen identiek zijn.

Uit onderzoek van Thomassen et al. (2021) blijkt dat de milieu-impact van hemelwater, dat zonder noemenswaardige zuivering voor toiletspoeling wordt gebruikt, viermaal hoger is dan de milieu-impact van kraanwater. Ook Hofman-Caris et al. (2019) kwamen tot de conclusie dat decentraal gebruik van regenwater geen of hooguit een zeer beperkte milieuwinst oplevert (maar alleen als meerdere huizen op het systeem worden aangesloten). De milieu-impact moet volgens Witteveen en Bos (Phernambucq et al. 2023) nog goed worden uitgerekend op basis van een maatschappelijke kosten-baten analyse (MKBA) en een integrale LCA, waarbij er gekeken moet worden naar de lange termijn, ook van de drinkwatervoorziening. Hierbij moeten de diverse klimaatscenario's en wijzigingen in demografie worden meegewogen. Hierbij wordt aangetekend, dat als vanuit kwaliteit en gezondheid nadere eisen aan de zuiveringsstappen worden gesteld, dit de milieuvoetafdruk van deze systemen zal doen toenemen. Dit is vanwege alle extra processtappen en bijbehorende installaties, maar als bijvoorbeeld derden nodig zijn voor het onderhoud, zullen ook de transportbewegingen aanzienlijk toenemen. De impact hiervan zal echter nader onderzocht moeten worden. In het huidige overzicht is gebruik gemaakt van bestaande literatuur over de huidige situatie (Hofman-Caris et al. 2019, Thomassen et al. 2021).

Waterbeschikbaarheid is geen onderdeel van een LCA-studie, maar zou ook meegewogen moeten worden (in hoeverre beïnvloedt de grondwaterwinning de omgeving, en zijn deze effecten beter te compenseren door regenwater rechtstreeks te gebruiken, of door het eerst in de ondergrond te laten infiltreren?). Daarnaast nemen de genoemde studies eventuele overlast door riooloverstorten, die met behulp van kleinschalige opvangsystemen

² In Nederland valt jaarlijks gemiddeld 853 mm neerslag (<https://www.weeronline.nl/nieuws/hoeveel-regen-valt-er-gemiddeld-in-nederland>), en in Vlaanderen 795 mm (<https://nl.climate-data.org/europa/belgie/vlaanderen/leuven-6105/>). Indien alle neerslag opgevangen kan worden, betekent dit dat een gemiddeld Nederlands huis 51 m³ regenwater zou kunnen opvangen, ten opzichte van 72 m³ door een Vlaams huis.

beperkt kunnen worden, niet mee. In Vlaanderen was dit echter een groter probleem dan in Nederland, waar meer en meer wordt overgegaan op gescheiden rioolstelsels.

Een mogelijkheid, die hier nog niet is genoemd en ook niet tijdens de interviews aan bod kwam, is het cascaderen van het watergebruik, waarbij water steeds voor een laagwaardiger toepassing wordt gebruikt zodat er geen zuivering nodig is. Zo kan bijvoorbeeld douchewater worden opgevangen voor gebruik in een wasmachine, en kan het water uit de wasmachine weer voor toiletspoeling worden gebruikt. Dit vereist echter een vrij ingewikkeld watersysteem in huis met buffers om variaties in vraag en aanbod op te vangen. Zo'n uitgebreid systeem gaat ook weer gepaard met hoge kosten en milieu-impact, en bijbehorende risico's door verkeerde verbindingen of microbiologische processen in de buffers. Zo hebben er in Engeland uitbraken van *Acanthamoeba keratis* plaatsgevonden, doordat drinkwater in woning-buffers werd opgeslagen (Kilvington et al. 2004). Dit kan, met name bij contactlensdragers, leiden tot blindheid wanneer het water in contact komt met ogen, bijvoorbeeld bij het sproeien van de tuin of douchen.

6 Conclusies

Het doel van het in dit rapport beschreven onderzoek was om een overzicht te geven van een aantal mogelijkheden die er zijn voor het gebruik van alternatieve bronnen (regenwater, grijswater, zwartwater) en het gebruik van andere kwaliteiten van water dan drinkwater in de woonomgeving (huishoudwater en dergelijke). Daarbij is aan de hand van interviews, praktijkbezoeken en een literatuurstudie gekeken naar verschillende aspecten, zoals continuïteit en kwaliteit van de bron, veiligheid en gezondheid, onderhoud, gevolgen voor drinkwatergebruik en -kwaliteit, kosten en milieu-impact.

Het huidige onderzoek is slechts een eerste, beknopte inventarisatie van de mogelijkheden om op kleine schaal water te behandelen. Er zijn diverse manieren om regenwater, grijs- en zwartwater te zuiveren tot allerlei kwaliteiten water, die voor verschillende toepassingen kunnen worden gebruikt. Om een goede afweging te kunnen maken, is het nodig een uitgebreidere evaluatie uit te voeren, waarbij de voordelen van dergelijke systemen en hun relatie met waterbeschikbaarheid, duurzaamheid, kosten en veiligheid in kaart worden gebracht, en eventuele kennishiaten worden opgevuld.

Desalniettemin kunnen uit het onderzoek de volgende conclusies worden getrokken:

Algemeen: het opvangen van regenwater en/of het hergebruik of cascadering van grijswater of zwartwater heeft enkele interessante voordelen: deze systemen kunnen overlast en schade bij piekbuien verminderen, afgelegen woningen van water voorzien, en de drinkwatervraag verminderen. Ook kan het helpen aan de totale watervraag te kunnen voldoen in tijden dat er een grote discrepantie is tussen vraag en aanbod.

- Onderhoud en risicobeheersing: verantwoordelijkheid voor bedrijfsvoering en onderhoud van individuele systemen ligt in de onderzochte pilots bij eigenaren, die vaak onvoldoende kennis hebben van risico's en veiligheid, wat kan leiden tot gebrekkig of onvoldoende onderhoud, het ontstaan van kruisverbindingen, gezondheidsrisico's voor de bewoner zelf, en voor de mensen in zijn omgeving als het drinkwaternet besmet wordt. Het gezondheidsrisico van kleinschalige, individuele systemen is niet kleiner omdat minder mensen op een systeem zijn aangesloten. Het risico kan te groot zijn voor een relatief beperkte groep (kwetsbare) mensen. Als het aantal kleinschalige systemen heel groot is kan het risico voor de volksgezondheid ook nog groot zijn, door veel kleine incidenten.

Opschaling naar wijkniveau kan sommige risico's verminderen, maar technische storingen en gebrek aan bewustzijn bij consumenten over hun handelen op de kwaliteit van het water en het functioneren van het systeem blijven een belangrijk punt van aandacht. Goede communicatie is hiervoor noodzakelijk, zeker ook bij nieuwe bewoners.

Lokale productie van drinkbaar water uit lokale bronnen is mogelijk, maar het ontbreekt aan adequate sensoren voor microbiologische veiligheidsmonitoring. Integrale risicobeheersing op decentraal niveau is moeilijk te realiseren, en de kosten voor benodigde analyseprogramma's zijn hoog voor de kleine hoeveelheid geproduceerd water. Betaalbare alternatieven zoals sensoren voor bijvoorbeeld microbiologie worden op korte termijn niet verwacht, aangezien technische knelpunten in de afgelopen decennia nog niet zijn opgelost en kosten van sensoren hoog zijn. Door deze beperkingen kan de waterkwaliteit van 'drinkbaar water' op dit moment niet op hetzelfde niveau worden gegarandeerd als die van drinkwater. De kwaliteitsverschillen zijn niet duidelijk voor consumenten, zelfs niet met de gangbare analyses.

- Impact op huidige drinkwatersysteem: gebruik van regen- en grijswater per woning kan het totale kraanwaterverbruik verminderen, maar leidt nauwelijks tot een kostenreductie voor het collectieve

drinkwatersysteem. Bij het gebruik van regenwater, moet het bestaande drinkwatersysteem worden gehandhaafd of zelfs uitgebreid in verband met de grotere piekfactoren in droge periodes (als naast de reguliere toename in gebruik ook buffers moeten worden aangevuld). Dit resulteert in een discrepantie tussen inkomsten en investeringen voor drinkwaterbedrijven.

- **Kosten:** het individueel toepassen van de huidige decentrale systemen leidt voor de gebruiker tot significant hogere kosten vergeleken met Nederlands kraanwater. Bij huidige kostenvoorbeelden ontbreken daarbij doorgaans nog posten voor de borging van de waterkwaliteit en veiligheid. Met de huidige tariefopbouw van het drinkwater wordt de kostenverdeling van (drink)watervoorziening in meerdere opzichten onevenredig. Mensen met een eigen systeem investeren veel geld om een gemeenschappelijk probleem op te lossen. Zoals het voorbeeld van Vlaanderen laten zien, maken drinkwaterbedrijven dezelfde kosten, maar kunnen ze minder water afzetten. Daardoor zal in het huidige systeem de prijs per m³ moeten stijgen, wat leidt tot een hogere waterrekening voor andere gebruikers.
- **Duurzaamheid:** de milieu-impact van een eenvoudig systeem op de schaal van een individuele woning zonder noemenswaardige zuiveringen, zoals in Vlaanderen gebruikelijk is, is een factor 4 hoger dan het gebruik van kraanwater. Daarnaast kan door regenwater op te vangen en direct te gebruiken in plaats van te infiltreren, lokaal verdroging optreden. Het hergebruiken van water kan wel het milieubewustzijn van burgers vergroten en hun gedrag op breder niveau beïnvloeden.

In Tabel 9 **Error! Reference source not found.** zijn specifiek de voor- en nadelen van individuele opvangsystemen in huis en toepassing voor de productie van huishoudwater samengevat. Deze gelden voor een deel ook voor individuele grijswatersystemen die huishoudwater produceren.

Tabel 9: Voor- en nadelen van regenwateropvangsystemen voor toepassing als huishoudwater, zonder significante zuivering bij een individuele woning.

Voordelen	Nadelen
Minder wateroverlast bij piekbuien	Kostbaar (waterprijs zonder behandeling al circa een factor 10 hoger)
Minder riooloverstorten	Grotere milieu-impact (circa 4 keer hoger, zonder waterbehandeling)
Groter waterbewustzijn bij burgers kan leiden tot zuiniger omgaan met (drink)water	Kans op negatieve gezondheidseffecten in straat of wijk vanwege kruisverbindingen
	Financiële gevolgen voor drinkwaterbedrijf en/of hogere drinkwaterprijs
	Kwaliteitsvermindering drinkwater in leidingstelsel

In vergelijking met het gebruik van een aanwezig centraal drinkwaternet is het opvangen van regenwater en hergebruiken van grijswater op het niveau van een individuele woning duurder, heeft het een grotere milieu-impact, en zijn er gezondheidsrisico's aan verbonden. Van de andere kant worden de behandelingssystemen steeds beter, waardoor de risico's kleiner worden, mits de eigenaar/gebruiker zich bewust is van de mogelijke risico's en het onderhoud en de bedrijfsvoering volgens de voorschriften worden uitgevoerd. Op plekken waar een centrale drinkwaterlevering niet mogelijk is, of waar er een lokale discrepantie is tussen vraag en aanbod kunnen individuele zuiveringssystemen zeker een goede aanvulling of een goed alternatief betekenen.

Als gebruikers er goed mee omgaan, hoeft het gebruik van alternatieve bronnen en decentrale systemen geen problemen op te leveren voor de volksgezondheid, en zou het tot een besparing op de drinkwatervraag kunnen leiden. Uit de praktijk blijkt dat er nog wat haken en ogen zitten aan de systemen, en dat het voor de implementatie heel erg belangrijk is dat mensen zich bewust zijn van de verschillende waterkwaliteiten en de risico's die gepaard gaan met bijvoorbeeld het verwisselen daarvan, of van onvoldoende onderhoud.

7 Overwegingen voor vervolg

In voorgaande hoofdstukken zijn de bevindingen steeds gebaseerd op de gegevens zoals die uit het literatuuronderzoek, pilots en interviews volgde. Dit hoofdstuk geeft verdere overwegingen voor toepassing, beleid en vervolgonderzoek. Deze overwegingen volgen deels uit het onderzoek, en zijn daarnaast gebaseerd op verdere kennis en ervaringen van de auteurs.

7.1 Aanbevelingen voor beleid en praktijk

Kijk naar een groter schaalniveau

De belangstelling voor decentrale wateropvang en -zuivering heeft onder andere te maken met problemen die ontstaan op het gebied van waterbeschikbaarheid en waterkwaliteit, waar ook in de media veel aandacht voor is. Bovendien wint de opvatting dat schoon drinkwater door het toilet spoelen zonde is, steeds meer terrein. Tegelijkertijd zien waterschappen zich geconfronteerd met klimaatverandering in de vorm van onder andere heviger piekbuien, die tot overlast leiden. Het is dan ook belangrijk om regenwater op een goede manier op te vangen om schade door overstromingen te voorkomen. Het reduceren van regenwater in gemengde rioolstelsels kan bijdragen aan het reduceren van capaciteitsproblemen in het riool en de rioolwaterzuivering, en noodoverstorten beperken en voorkomen. Overigens moet hierbij wel worden opgemerkt dat in sommige systemen regenwater nodig is om de riolen periodiek schoon te spoelen. Bij een gescheiden riolering (waarbij een regenwater- en vuilwaterriool naast elkaar bestaan) dient het regenwater als aanvulling van het oppervlaktewater. Het is dus niet in alle gevallen nodig of verstandig zoveel mogelijk regenwater op te vangen en, zij het vertraagd, via het vuilwaterriool af te voeren.

In de huidige situatie verdient het de voorkeur om behandeling van alternatieve waterbronnen op grotere schaal (bijvoorbeeld wijk-schaal) te organiseren, waarbij de verantwoordelijkheid ligt bij instanties die de benodigde kennis hebben, zich bewust zijn van de risico's, en daarnaast de kosten voor onderhoud en analyses kunnen dragen. Onder die voorwaarden is het mogelijk om alternatieve bronnen te gebruiken om er drinkwater of andere typen water van te maken, om alternatieve waterkwaliteiten in de woonomgeving toe te passen of bijvoorbeeld om watergebruik te cascaderen, en het totale waterverbruik te verlagen. In dat laatste geval is zuivering niet nodig, maar het betekent wel dat een extra netwerk en buffercapaciteit aangelegd moeten worden, en dat kruisverbindingen voorkomen moeten worden.

Maak een brede afweging van maatschappelijke waarden

Bij het aanleggen van decentrale systemen is het belangrijk om goed na te gaan welk probleem hiermee moet worden opgelost, en of dit de optimale manier is om dat te doen. Als de motivatie bijvoorbeeld is de milieu-impact te verlagen door geen drinkwater maar opgevangen regenwater voor toiletspoeling te gebruiken, is het goed te beseffen dat de milieu-impact van individuele systemen aanzienlijk hoger is dan die van het gebruik van centraal geleverd drinkwater, vanwege de kleinschaligheid van het systeem. Indien het systeem voor meerdere woningen tegelijk wordt aangelegd, kan er mogelijk wel milieuwinst behaald worden. Het is ook belangrijk het hele watersysteem in beschouwing te nemen, zodat de oplossing voor één specifiek probleem (bijvoorbeeld het opvangen van regenwater) niet elders tot problemen (bijvoorbeeld lokale verdroging) leidt.

Daarnaast is het aan te raden de werkelijke kosten duidelijk in beeld te brengen, zodat ook op dat gebied een eerlijke afweging gemaakt kan worden, zowel op individuele als op wijk-schaal. Gezien de hoge kosten van decentrale systemen, lijkt het soms aantrekkelijk te bezuinigen op materialen, installaties en onderhoud, maar dat kan leiden tot problemen met het functioneren ervan, en tot nog hogere onderhoudskosten. Het wordt aangeraden om bij dit soort overwegingen al dergelijke aspecten ook mee te wegen voordat een beslissing wordt

genomen. Dit geldt uiteraard niet in gevallen waarin gebruik van regenwater of hergebruik van water de enig mogelijke bron is. In die gevallen kunnen de systemen die nu ontwikkeld zijn en worden een belangrijke bijdrage leveren.

Tot slot zou het totale watergebruik onder de loep genomen moeten worden. Zo hebben bijvoorbeeld industrie en landbouw niet altijd drinkwater of eigen grondwater nodig. Regenwater van een groot terrein en/of (huishoudelijk of industrieel) afvalwater kan bijvoorbeeld worden gezuiverd tot de gewenste waterkwaliteit. Het op deze grotere schaal hergebruiken van water is naar verwachting economisch beter haalbaar en kan worden beheerst door partijen met de benodigde specifieke kennis.

Veiligheidsmaatregelen voor het gebruik van grijswater en hemelwater

Voor alle waterzuiveringsinstallaties is het van groot belang om tijdig en adequaat onderhoud uit te (laten) voeren. Indien dit niet gebeurt, wekt het proces een vals gevoel van veiligheid. Aangezien bij kleinschalige systemen de verantwoordelijkheid bij individuen ligt, die niet altijd doordrongen zijn van de urgentie van goed onderhoud, is dit een risico bij de toepassing van kleinschalige zuiveringssystemen. Dit risico doet zich vooral voor bij drinkwater, maar bij onjuist gebruik (zoals douchen met beperkt of niet gezuiverd water) of bij kruisverbindingen treden ook risico's op. Het verplicht stellen van onderhoud door professionele partijen zou dit probleem kunnen verkleinen, maar daarbij moet wel rekening worden gehouden met de beschikbaarheid van voldoende vakkundig personeel.

Grijswater en regenwater bleken in enkele studies ongeveer evenveel pathogenen te bevatten als zwartwater. Gezondheidsrisico's door het gebruik van op kleine schaal opgevangen water kunnen worden verkleind door het water in min of meerdere mate te zuiveren. Er zou onafhankelijk onderzoek gedaan moeten worden naar de verschillende commerciële systemen die op de markt zijn, en de waterkwaliteit die ze claimen te kunnen realiseren. Een kleinschalige installatie met zuivering of desinfectie is duurder dan een systeem zonder die kwaliteitsverbetering, en op dit moment niet voor iedereen bereikbaar. Daarnaast is het belangrijk dat de systemen automatisch uitgeschakeld worden indien ze niet meer optimaal functioneren. Daarmee wordt voorkomen dat mensen hun installatie te lang blijven gebruiken als er onderhoud nodig is.

Bij kleinschalige drinkwatertoepassingen (op woning- of wijkschaal) is het waarborgen van de veiligheid een grote uitdaging, zoals ook blijkt uit de voorbeelden van Superlocal en Vlaanderen. Vooral analyses van micro-organismen zijn lastig uitvoerbaar en duur. Eigenlijk is voor drinkwater een AMVD nodig, maar zelfs op wijkschaal, zoals bij Superlocal, zijn de kosten erg hoog, omdat de hoeveelheden geproduceerd drinkwater veel kleiner zijn dan bij een regulier drinkwaterbedrijf. Hetzelfde geldt overigens ook voor chemische drinkwatermonitoring, die weliswaar eenvoudiger is dan microbiologische, maar nog steeds erg kostbaar voor een relatief kleine hoeveelheid drinkwater.

Er is daarnaast wetgeving nodig waarin geregeld wordt dat een erkende installateur de installaties na aanleg moet keuren, en waarin wordt vastgelegd wie verantwoordelijk is voor de schade die ontstaat door een eventueel aangelegde kruisverbinding. Een gezamenlijk risicobeheerplan voor regenwater- en grijswaterrecyclingsystemen, zoals in het WHO-rapport beschreven, kan hieraan bijdragen. Een simpele maatregel die verkeerd gebruik van water bij aanwezigheid van meerdere leidingsystemen in een gebouw kan voorkomen, is door de leidingen met drinkwater te voorzien van een label dat aangeeft dat dit drinkwater is. Leidingen die geen label hebben kunnen dus niet vertrouwd worden als drinkwater, en als het label om één of andere reden verdwijnt, geldt dus dat het water uit die leiding per definitie niet meer als drinkwater beschouwd kan worden.

Naast technische veiligheidsmaatregelen moet er extra aandacht komen voor voorlichting aan de betrokken burgers. Het is van groot belang dat zij beseffen hoe een systeem werkt, en wat er van hen wordt verwacht, en wat ze wel of niet ermee kunnen doen. Dus geen afval in het verkeerde systeem deponeren, maar ook het juiste type water voor de juiste toepassing gebruiken, en systemen heel goed onderhouden. Dit vraagt om een hoog 'waterbewustzijn' bij burgers, en het opstellen van een risicomanagementplan.

Risico-acceptatie

Op het ogenblik zijn de eisen die Nederland stelt aan de veiligheid van drinkwater heel erg hoog, waarbij een jaarlijks infectierisico van één op tienduizend personen wetenschappelijk, in beleid en in de maatschappij als acceptabel geldt. Het op grote schaal toepassen van kleinschalige zuiveringen zou, zo lang er geen goede sensoren en veiligheidsmaatregelen voor beschikbaar zijn, dit risico kunnen verhogen. In Vlaanderen hebben ziektegevallen als gevolg van besmettingen door regenwatersystemen niet geleid tot aanpassing in regelgeving. Mogelijk zijn de gevolgen in Vlaanderen beperkter door het gebruik van chloor in het leidingnet en het feit dat daar relatief meer flessenwater wordt gedronken, terwijl in Nederland na de casus Leidsche Rijn het gebruik van huishoudwater alleen onder specifieke condities nog wordt toegestaan. Voor niet drinkwater toepassingen zijn nog geen gezondheidsnormen vastgesteld. Er is een discussie nodig of hiervoor dezelfde normen gepast zijn, waarin naast ziektegevallen door fecale ziekteverwekkers ook ziektegevallen door opportunistische ziekteverwekkers als *Legionella* moeten worden meegenomen. Overigens spelen risico's veroorzaakt door *Legionella* vooral bij gebruik van water voor douchen.

Daarbij is het goed om te bedenken dat risico's nooit helemaal uit te sluiten zijn, en dat bijvoorbeeld door afgifte van stoffen uit een tuinslang en opwarming ook opportunistische pathogenen kunnen groeien. Het is momenteel onduidelijk of de risico's van hergebruik significant groter zijn dan de risico's die we op dit moment aanvaardbaar vinden. Hier zal verder onderzoek naar gedaan moeten worden.

Een hieraan gerelateerde discussie is het gebruik van chloor. In Nederland wordt chloor in principe niet voor desinfectie gebruikt, omdat desinfectiebijproducten carcinogeen kunnen zijn. We hebben een goed systeem gecreëerd waarin het mogelijk is veilig drinkwater te leveren zonder chloor. Als de risico's op kruisverbindingen met slechtere waterkwaliteiten toenemen zouden we kunnen overwegen chloor aan het water toe te voegen om de gevolgen hiervan te verminderen. Dit zal echter gepaard gaan met een slechtere smaak van het kraanwater en het risico op de aanwezigheid van carcinogene bijproducten in het water. Ook dit vergt een afweging tussen de voor- en nadelen van kleinschalige systemen.

7.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Er zijn in het verleden diverse studies uitgevoerd naar de voor- en nadelen van decentrale systemen voor regenwateropvang en hergebruik. Op dit moment vinden veel (proef)projecten plaats en is er discussie over verplichting van deze systemen in nieuwbouw of bestaande woningen om aan de (drink)watervraag te kunnen blijven voldoen. Hierbij wordt beperkt gebruik gemaakt van de reeds ontwikkelde kennis hierover. Aanbevolen wordt om bestaande kennis bijeen te brengen, samen te vatten en dit aan betrokken partijen voor te leggen. Daarmee kan een deel van de huidige vragen worden beantwoord en kan gericht onderzoek worden uitgevoerd naar kennishiaten.

Sinds de jaren 1990 doet KWR onderzoek op dit onderwerp voor de drinkwaterbedrijven en andere partijen (zie Bijlage II). Er is daarom al veel kennis beschikbaar die de huidige vragen die spelen bij het aanleggen en bedrijven van pilotinstallaties deels kan beantwoorden. Aanbevolen wordt in een vervolgproject deze kennis te bundelen in het licht van de huidige situatie en dit in de betrokken gremia (projectteams, overheden, waterbedrijven, waterschappen, leveranciers enz.) in te brengen. Hiermee kan dubbel werk worden voorkomen en de meest relevante vragen worden geïdentificeerd. Een overzicht van de ruim 50 KWR publicaties over dit onderwerp is gegeven in Bijlage II. Deze kennis kan ook ter beschikking worden gesteld van partijen die werken aan nieuwe proefprojecten op het gebied van waterbesparing en -hergebruik.

Er mist op die moment onderzoek naar een brede vergelijking tussen alternatieve systemen op verschillende schaalniveaus. Bij zo'n vergelijking moet niet alleen gekeken worden naar waterbesparing en veiligheid, maar ook naar bredere milieu-impact, kosten, invloed op het watersysteem, verantwoordelijkheidsverdeling, gedragsaspecten en sociale rechtvaardigheid.

8 Literatuur

- B-WaterSmart. (2024). "B-WaterSmart Living Labs Vlaanderen." Retrieved 22-11-2024, 2024, from <https://b-watersmart.eu/living-lab/vlaanderen-in-belgie/>.
- Bandyopadhyay, S. (2024). Advances in Drinking Water Purification DOI: 10.1016/C2021-0-01149-4.
- Bandyopadhyay, S. (2024a). "Preface." *Advances in Drinking Water Purification: Small Systems and Emerging Issues*: xvii-xviii.
- Bandyopadhyay, T., V. Bhojwani, H. Weigand, A. Sharma and A. Singh (2023). "Household-scale treatment units for reductive removal of hexavalent chromium from groundwater." *Journal of Water Process Engineering* 53.
- Barazorda-Ccahuana, H. L., A. S. Fajardo, A. J. dos Santos and M. R. V. Lanza (2023). "Decentralized approach toward organic pollutants removal using UV radiation in combination with H₂O₂-based electrochemical water technologies." *Chemosphere* 342.
- Barendse, K., S. Brouwer, S. van Dijk and M. Schriks (2023). "Een verkenning van de acceptatie van waterhergebruik in Nederland." *H₂O(Issue)*.
- Bel, J. (2024). "Webinar regenwatersystemen Mijn Waterfabriek." Personal communication 16-10-2024.
- Bel, J. (2024). "Wet- en regelgeving over regenwatergebruik, Nederland." Retrieved 16-10-2024, 2024, from <https://www.mijnwaterfabriek.nl/kennisbank/wet-en-regelgeving-over-regenwatergebruik>.
- Brouwer, S. and R. M. A. Sjerps (2018). "Klantperspectieven in Nederland en Vlaanderen vergeleken." *H₂O(Issue)*.
- Bulk, S. (2021). "Tiny House van steven en Leanne." Retrieved 18-10-2024, 2024, from <https://www.tinyxl.nl/>.
- Chavan, S., A. Atmakuri, S. Kumar, B. Yadav, R. D. Tyagi, R. D. Tyagi, P. Drogui and J. W. C. Wong (2024). *Introduction to Decentralized Treatment. Decentralized Sanitation and Water Treatment: Concept and Technologies*: 1-18.
- Cirkel, G. (2025). Personal communication 03-06-2025.
- D2D water Solutions. (2020). "D2D Water Solutions sluit zich aan bij VIDA project." Retrieved 15-10-2024, 2024, from .
- De Watergroep (2024). *Geïntegreerd jaarverslag 2023*, De Watergroep.
- De Watergroep. (2024). "LIFE Local Water Adapt." Retrieved 22-11-2024, 2024, from <https://www.dewatergroep.be/nl-be/over-de-watergroep/innovatie/innovatie/circulaire-systemen/decentrale-watervoorziening/life-local-water-adapt>.
- De Watergroep. (2025). "Tarieven." Retrieved 06-06-2025, 2025, from <https://www.dewatergroep.be/nl-be/drinkwater/veelgestelde-vragen/tarieven>.
- De Watergroep. (2025). "Waterverbruik." Retrieved 06-06-2025, 2025, from <https://www.dewatergroep.be/nl-be/drinkwater/veelgestelde-vragen/waterverbruik>.
- Du, X., J. Xu, Z. Mo, Y. Luo, J. Su, J. Nie, Z. Wang, L. Liu and H. Liang (2019). "The performance of gravity-driven membrane (GDM) filtration for roofing rainwater reuse: Implications of roofing rainwater energy and rainwater purification." *Science of the Total Environment* 697.
- Dutch Government. (2018, July 1st 2018). "Drinkwaterbesluit." Retrieved December 30, 2018, from .

- Eticha, M., A. Geremew, G. Dirirsa, K. Bayu, H. Girma and D. A. Mengistu (2022). "Household water treatment practice and associated factors among households dependent on unimproved water sources in Ameya district, Oromia, Ethiopia." *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development* 12(5): 432-442.
- European Union (2020). Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse (Text with EEA relevance). Bruxelles, European Union. Document 32020R0741.
- Faragò, M., S. Brudler, B. Godskesen and M. Rygaard (2019). "An eco-efficiency evaluation of community-scale rainwater and stormwater harvesting in Aarhus, Denmark." *Journal of Cleaner Production* 219: 601-612.
- Garrido-Baserba, M., I. Barnosell, M. Molinos-Senante, D. L. Sedlak, K. Rabaey, O. Schraa, M. Verdaguer, D. Rosso and M. Poch (2022). "The third route: A techno-economic evaluation of extreme water and wastewater decentralization." *Water Research* 218.
- Gemeente Kerkrade. (2023). "Superlocal Super Circular Estate." Retrieved 24-10-2024, 2024, from <https://www.superlocal.eu/>.
- Gowda, D. V., D. Harmsen, S. Koel, H. Vervaeren, A. D'Haese and E. R. Cornelissen (2025). "Determining UF hollow fiber membrane integrity with novel microbial monitoring method." *Journal of Membrane Science* 719.
- Guo, H. and Y. Kim (2024). Electrochemistry Applications in Decentralized Wastewater Treatment. *Decentralized Sanitation and Water Treatment: Concept and Technologies*: 72-90.
- Harmsen, D., A. Hommes, L. Heijnen and E. Cornelissen (2024). Natuurlijke virussen voor bewaking integriteit membraanfiltratie systemen, KWR 2024.039, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands.
- Haroun, B., A. Ismail, F. L. Kakar, R. A. Hamza, M. El-Qelish and E. Elbeshbishy (2024). Septage as a Resource and Potential Strategies for Resource Recovery. *Decentralized Sanitation and Water Treatment: Concept and Technologies*: 154-172.
- Hermans, P. G., B., G. H. Gerritsen, I. Pernambucq and J. J. J. Soons (2023). Decentraal gebruik van hemelwater, 130883/23-014.039, Witteveen & Bos.
- Hofman-Caris, C. H. M., C. Bertelkamp, L. d. Waal, T. v. d. Brand, J. Hofman, R. v. d. Aa and J. P. v. d. Hoek (2019). "Rainwater Harvesting for Drinking Water Production: A Sustainable and Cost-Effective Solution in The Netherlands?" *Water* 11(3).
- Hofman-Caris, C. H. M., G. Cirkel, H. Huiting and L. d. Waal (2019). Stand-alone decentrale zuivering voor afgelegen gebieden, BTO 2018.099, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Hofman-Caris, C. H. M., L. de Waal and T. Van Den Brand (2018). Regenwater als bron voor drinkwater: productiekosten en milieuaspecten, BTO 2018.028, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Hofman-Caris, C. H. M., R. Jong, F. van Berkel, W. Siegers and D. Harmsen (2024). TKI Circular Rain; Innovatieve buffering en zuivering van regenwater, KWR 2024.047, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands.
- Hofman-Caris, C. H. M., J. Vreeburg, G. Cirkel and P. W. M. H. Smeets (2023). "Alternatieve bronnen en toepassingen van water." *H2O(Issue)*.
- Hofman-Caris, R., C. Bertelkamp, L. de Waal, T. van den Brand, J. Hofman, R. van der Aa and J. P. van der Hoek (2019). "Rainwater harvesting for drinkingwater production: A sustainable and cost-effective solution in The Netherlands?" *Water (Switzerland)* 11(3).
- Hollander, R., M. Bullermann, C. Gross, H. Hartung, K. Konig, F. K. Lucke and E. Nolde (1996). "Mikrobiologisch-hygienische Aspekte bei der Nutzung von Regenwasser als Betriebswasser für Toilettenspülung, Gartenbewässerung und Wäschewaschen." *Gesundheitswesen* 58(5): 288-293.

- Hulsman, A. and P. W. M. H. Smeets (2011). Towards a guidance document for the implementation of a risk assessment for small water supplies in the European Union, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands.
- Kilvington, S., T. Gray, J. Dart, N. Morlet, J. R. Beeching, D. G. Frazer and M. Matheson (2004). "Acanthamoeba Keratitis: The Role of Domestic Tap Water Contamination in the United Kingdom." *Investigative Ophthalmology and Visual Science* 45(1): 165-169.
- Kim, M. and M. Han (2011). "Composition and distribution of bacteria in an operating rainwater harvesting tank." *Water Science and Technology* 63(7): 1524-1530.
- Krakkó, D., Á. Illés, V. Licul-Kucera, B. Dávid, P. Dobosy, A. Pogonyi, A. Demeter, V. G. Mihucz, S. Dóbbé and G. Záray (2021). "Application of (V)UV/O3 technology for post-treatment of biologically treated wastewater: A pilot-scale study." *Chemosphere* 275.
- Kumar, S. S., S. D. U. Mageswari, S. Dhanasekar, R. R. G. Prasaath, S. D. Kumar and K. R. Yuvaraj (2021). Domestic water treatment - An Indian perspective. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Lakho, F. H., H. Q. Le, F. Van Kerkhove, W. Igodt, V. Depuydt, J. Desloover, D. P. L. Rousseau and S. W. H. Van Hulle (2020). "Water treatment and re-use at temporary events using a mobile constructed wetland and drinking water production system." *Science of the Total Environment* 737.
- Lakho, F. H., A. Qureshi, W. Igodt, H. Q. Le, V. Depuydt, D. P. L. Rousseau and S. W. H. Van Hulle (2022). "Life cycle assessment of two decentralized water treatment systems combining a constructed wetland and a membrane based drinking water production system." *Resources, Conservation and Recycling* 178.
- Li, B., R. Ma, J. Jiang, L. Guo and K. Li (2024). "Deployment of interpretable machine learning in a water treatment device - feasibility exploration of performance enhancement." *Journal of Water Process Engineering* 58.
- Lu, C., S. Zhang, C. Lu, B. Ma, J. Sun, K. Yu, W. Zhang, C. Hu and J. Qu (2024). "Low-maintenance anti-scaling of nanofiltration pretreated by bipolar-induced electrolysis for decentralized water supply." *Journal of Membrane Science* 706.
- Medema, G. J. (1999). Microbiologische veiligheid van huishoudwater. voor toepassing van toilet, wassen kleding en buitenkraan., Kiwa Water Research, Nieuwegein.
- Mijn Waterfabriek. (2024). "Jenever uit regenwater." Retrieved 15-10-2024, 2024, from <https://www.mijnwaterfabriek.nl/projecten/jenever-uit-regenwater>.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2020). Beleidsnota Drinkwater 2021-2026; Samen werken aan een toekomstbestendige drinkwatervoorziening, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Den Haag.
- Moglia, M., K. Gan and N. Delbridge (2016). "Exploring methods to minimize the risk of mosquitoes in rainwater harvesting systems." *Journal of Hydrology* 543, Part B: 324-329.
- Nederlandse Overheid. (2021, 13-10-2021). "Drinkwaterbesluit." 13-10-2021. Retrieved 07-01-2022, from <https://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/2021-10-13>.
- Oosterholt, F. (2003). Beleidsonderbouwende monitoring huishoudwater. , Kiwa Water Research, Nieuwegein.
- Oosterholt, F., A. Sluijs, M. N. Mons and G. J. Medema (2003). Evaluatie van praktijkervaringen met huishoudwater. H2O, KNW. 16: 22-24.
- Oliveira, H. L., A. D. Gondim, L. N. Cavalcanti, E. V. dos Santos, J. E. L. Santos and C. A. Martínez-Huitle (2024). Recent advancements and applications of environmental electrochemistry. *Advances in Environmental Electrochemistry*: 25-54.
- Omroep Flevoland. (2022). "Oosterwold krijgt riolering, experiment met eigen waterzuivering mislukt." Retrieved 10-06-2025, 2025, from <https://www.omroepflevoland.nl/nieuws/292243/oosterwold-krijgt-riolering-experiment-met-eigen-waterzuivering-mislukt>.

- Oosterwold. (2024). "Maak Oosterwold." Retrieved 18-10-2024, 2024, from <https://maakooosterwold.nl/>.
- Panchangam, S. C., L. S. Sarma, P. Vijayarengan and A. K. Reddy Narreddy (2024). Common Decentralized Treatment and Disposal Methods. Decentralized Sanitation and Water Treatment: Concept and Technologies: 53-71.
- Pandit, S., N. Yadav, P. Sharma, A. Prakash and A. Kuila (2024). "Life cycle assessment and techno-economic analysis of nanotechnology-based wastewater treatment: Status, challenges and future perspectives." Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers.
- Phernambucq, I., J. Klein, E. Remijn and P. Hermans (2023). Hemelwater- en grijswatergebruik in het gebouw. Mogelijke verplichting in het Bbl. Eindrapport, Witteveen en Bos, Deventer.
- PureBlue. (2024). "Duurzaam waterbeheer op Camping Olmenveld." Retrieved 08-01-2025, 2025, from <https://pureblue.nl/nl/duurzaam-waterbeheer-op-camping-olmenveld>.
- Qamar, R. A., A. Mushtaq, A. Ullah and Z. U. Ali (2022). "Manufacturing of Small Scale Water Treatment Plant for Household." Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series A: Physical Sciences 65(1): 47-58.
- Raimondi, A., R. Quinn, G. R. Abhijith, G. Becciu and A. Ostfeld (2023). "Rainwater Harvesting and Treatment: State of the Art and Perspectives." Water (Switzerland) 15(8).
- Roamler (2025). Bottled water; consumer report.
- Rotteveel, M. and E. Rotteveel. (2023). "Circulair watersysteem. De Watertransitie: een nieuwe vorm van productie en verbruik van (drink)water." Retrieved 22-11-2024, 2024, from <https://circulairwater.com/>.
- Sales-Ortells, H., G. Agostini and G. Medema (2015). "Quantification of waterborne pathogens and associated health risks in urban water." Environmental Science and Technology 49(11): 6943-6952.
- Sales-Ortells, H. and G. Medema (2014). "Screening-level microbial risk assessment of urban water locations: A tool for prioritization." Environmental Science and Technology 48(16): 9780-9789.
- Sales-Ortells, H. and G. Medema (2015). "Microbial health risks associated with exposure to stormwater in a water plaza." Water Research 74: 34-46.
- Staes, J. and P. Meire (2019). "Droog Vlaanderen moet infiltratie en retentie herstellen, zeggen wetenschappers." H2O actueel(Issue).
- Stimulus Programmamanagement. (2024). "Camping levert schoon water aan boeren." Retrieved 19-10-2024, 2024, from <https://www.stimulus.nl/portfolio/camping-levert-schoon-water-aan-boeren/>.
- Stofberg, S. F., C. Bertelkamp, M. Huijgevoort and P. S. Bauerlein (2019). Achtergronddocument VO Alternatieve Bronnen voor Drinkwater, BTO 2019.017, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands.
- Stofberg, S. F., C. H. M. Hofman-Caris, G. Pronk, H. J. Van Alphen and B. Putters (2019). "Toekomstverkenning: alternatieve bronnen voor drinkwater in Nederland." H2O online(Issue).
- Tangena, B. (2018). Het gaat bijna altijd goed; statistieken, analyses en anekdotes over drinkwaterincidenten. Zelhem, Uitgeverij Het Boekenschap
- Thomassen, G., S. Huysveld, L. Boone, C. Vilain, D. Geysen, K. Huysman, B. Cools and J. Dewulf (2021). "The environmental impact of household's water use: A case study in Flanders assessing various water sources, production methods and consumption patterns." Science of the Total Environment 770.
- Tiny Houses Duinvallei. (2023). "Tiny Houses Duinvallei." Retrieved 18-10-2024, 2024, from <https://www.tinyhousesduinvallei.nl/>.
- UVOX Redox. (2023, 2023). "UVOX Redox." Retrieved 25-10-2024, 2024, from <https://www.uvox.com/what/>.

- van Bel, N. and L. Hornstra (2022). Verwijdering van natuurlijke en pathogene virussen tijdens drinkwaterproductie, BTO 2022.028, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands.
- van Bel, N., M. van der Waals, F. van Charante, J. van Rijn and A. van der Veen (2024). Alternatieve parameter voor KG22 na werkzaamheden en calamiteiten in het distributienet, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands.
- van den Berg, H. H. J. L., L. Friederichs, J. F. M. Versteegh, P. W. M. H. Smeets and A. M. de Roda Husman (2017). Risicoanalyse en risicomangement van drinkwaterproductie in Nederland, RIVM Rapport 2017-0036, RIVM, De Bilt.
- van der Burght, F. (2023). "Oosterwold krijgt toch riolering." *Water Governance*(Issue): 119-124.
- Van Der Merwe, V., S. Duvenage and L. Korsten (2013). "Comparison of biofilm formation and water quality when water from different sources was stored in large commercial water storage tanks." *Journal of Water and Health* 11(1): 30-40.
- van der Wielen, P. and D. van der Kooij (2010). "ATP-metingen geven informatie over kans op nagroeiproblemen bij drinkwaterdistributie." *H2O* 2010(Issue): 38-40.
- van Esch, K. J. and H. van der Eem (2015). Keuzeprocess afvalwater buitengebied, RIONED en STOWA, Amerstfoort.
- van leerdam, R. (2012). Risico's van luchtgebruik in de drinkwaterzuivering, BTO 2011.054, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands.
- Verleun, J., K. Brouwer, M. Lardinoye, J. Holman, F. Verkuijlen, W. Bakker, J. Nieuwlands, J. Goossen and H. Huizing (2013). Naar meer doelmatigheid bij IBA-systemen, Stowa 2013.34.
- Versteegh, J. F. M., E. G. Evers and A. H. Havelaar (1997). Gezondheidsrisico's en normstelling voor huishoudwater, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- VEWIN (2023). Kerngegevens drinkwater 2023.
- Vlaamse Milieumaatschappij (2023). Kwaliteit van het drinkwater - 2022, VMM, Aalst.
- Vlaamse Milieumaatschappij. (2024, mei 2024). "Dashboard kernset milieudata." Retrieved 16-01-2025, 2025, from <https://vmm.vlaanderen.be/feiten-cijfers/catalogus-feiten-cijfers/dashboard-milieudata/dashboard-kernset-milieudata>.
- Vlaamse Milieumaatschappij. (2024, august 2024). "Waterverbruik huishoudens." Retrieved 22-11-2024, 2024, from <https://www.vmm.be/sectoren/huishoudens/waterverbruik-huishoudens>.
- Vlaamse Milieumaatschappij (20168). Watergebruik door huishoudens; het watergebruik in 2016 bij de Vlaming thuis, Vlaamse Milieumaatschappij, Aalst.
- Wartalska, K., M. Grzegorzek, M. Bełcik, M. Wdowikowski, A. Kolanek, E. Niemierka, P. Jadwiszczak and B. Kaźmierczak (2024). "The Potential of RainWater Harvesting Systems in Europe – Current State of Art and Future Perspectives." *Water Resources Management* 38(12): 4657-4683.
- Water Alliance. "Expertgroep Circulair Water." Retrieved 06-03-2025, 2025, from <https://wateralliance.nl/expertgroepen/eg-circulairwater/>.
- Water Alliance. (2021, 06-07-2021). "UVOX Recox ontwikkelt waterzuiveringssteem met hoge log reductie." Retrieved 25-10-2024, 2024, from <https://www.h2owaternetwerk.nl/new-business/uvox-redox-ontwikkelt-waterzuiveringssysteem-met-hoge-log-reductie>.
- Welt. (2010). "Regensteuer." Retrieved 8 August 2018, from https://www.welt.de/print/die_welt/hamburg/article10416092/Regensteuer-tritt-2012-in-Kraft.html.
- WHO (2012). Water Safety Planning for small community water supplies; step-by-step risk management guidance for drinking-water supplies in small communities, WHO, Malta.
- WHO (2019). Results of Round II of the WHO International Scheme to Evaluate Household Water Treatment Technologies, WHO, Geneva.

- Wuijts, S., C. H. Buscher, W. Verweij, C. T. A. Moermond, A. M. De Roda Husman, B. H. Tangena and A. Hooijboer (2011). Toekomstverkenning drinkwatervoorziening in Nederland, RIVM Rapport 609716001/2011, RIVM en KWR, Bilkthoven.
- Xu, S., T. Song, L. Luo and J. W. C. Wong (2024). Decentralized Anaerobic Treatment of Rural Domestic Sewage. Decentralized Sanitation and Water Treatment: Concept and Technologies: 120-138.
- Y, M., S. Pilli, P. Venkateswara Rao and R. D. Tyagi (2024). Circular Economy and Sustainable Development. Decentralized Sanitation and Water Treatment: Concept and Technologies: 19-30.
- Yadav, B., A. Atmakuri, R. D. Tyagi, P. Drogui and J. W. C. Wong (2024). Sustainable, Decentralized Sanitation and Reuse Using Hybrid Systems. Decentralized Sanitation and Water Treatment: Concept and Technologies: 110-119.
- Yan, S., P. Drogui, R. D. Tyagi and J. W. C. Wong (2024a). Sanitation and Sustainable Water Management Concepts in Rural, Urban, and Peri-Urban Areas. Decentralized Sanitation and Water Treatment: Concept and Technologies: 31-49.
- Yan, S., P. Drogui, R. D. Tyagi and J. W. C. Wong (2024b). Development of Decentralized Drinking Water Treatment Plant. Decentralized Sanitation and Water Treatment: Concept and Technologies: 139-153.
- Zakaria, B. S., T. H. Chung, Z. Ju and B. R. Dhar (2024). Microbial Electrochemical Technologies for Decentralized Wastewater Treatment and Resource Recovery. Decentralized Sanitation and Water Treatment: Concept and Technologies: 91-109.
- Zhang, Y., J. Zhan, B. Wang, J. Huang, S. Deng, G. Yu, S. Komarneni and Y. Wang (2022). "Integration of ultraviolet irradiation with electrochemical chlorine and hydrogen peroxide production for micropollutant abatement." Chemical Engineering Journal 430.
- Zhang, Y. X., J. L. Xiang, J. J. Wang, H. S. Du, T. T. Wang, Z. Y. Huo, W. L. Wang, M. Liu and Y. Du (2023). "Ultraviolet-based synergistic processes for wastewater disinfection: A review." Journal of Hazardous Materials 453.

I Bijlage I: Praktijkcasussen

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van enkele praktijkcasussen, waarbij de informatie wordt weergegeven zoals die van de leveranciers en betrokkenen is verkregen. De overwegingen van de auteurs op basis daarvan zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

I.1 Regenwateropvang in Vlaanderen

De in dit hoofdstuk weergegeven informatie is afkomstig uit het interview met Evelyn de Meyer van de Watergroep en openbare literatuur.

In Vlaanderen speelden er problemen met riooloverstorten bij hevige regenbuien. Daarom is men ertoe overgegaan om regenwateropvang door individuele huishoudens verplicht te stellen. Sinds 2004 is bij wet geregeld dat bij nieuwbouw en grote verbouwingen een regenwateropvangsysteem moet worden aangelegd. Het oorspronkelijke idee was dat het water vanuit die opvang vertraagd naar het rioolstelsel zou kunnen worden afgevoerd. Maar België kampt ook met zoetwatertekorten. België bezette in 2019 de 23^{ste} plek op de wereldranglijst met plaatsen die watertekorten ervaren (B-WaterSmart 2024). Daarnaast liggen de kosten voor drinkwaterverbruik hoger dan in Nederland, omdat ook de riool- en zuiveringsheffing is gekoppeld aan verbruik. Daarom gingen mensen ook toepassingen bedenken voor het opvangen regenwater. Sinds 2023 stimuleert de overheid gebruik van het opgevangen water voor toiletspoeling en bewateren van de tuin.

Opvangsystemen

Inmiddels beschikt meer dan 60 % van de Vlamingen over een regenwateropvang met een dubbel leidingstelsel. Een echte zuivering wordt hierin niet toegepast, wel een grof filter om de ophoping van materiaal zoals bladeren te beperken. In nieuwe regelingen van de Vlaamse overheid wordt vaak wel filtratie met bijvoorbeeld een lavafilter aangeraden, om te voorkomen dat zich humus ophoopt in de tank. Officieel wordt ook een filter met granulaire actieve kool (GAK) aangeraden om kleur te verwijderen. Deze filters worden in de aanvoerleiding naar de opvangtank aangebracht. In principe is de eerste hoeveelheid opgevangen regenwater altijd het meest vervuild, maar er lijken in Vlaanderen weinig mensen te zijn die deze 'first flush' weggooien (naar schatting hooguit 1 %). Er worden geen eisen gesteld aan het dakmateriaal, al is wel bekend dat van een nieuw EPDM (ethyleen-propyleen-dieen-monomeer, een synthetisch rubber of elastomeer) dak of van een bitumendak na verloop van tijd deeltjes kunnen loskomen. Pannendaken geven minder vervuiling.

Waar in de eerste jaren een buitenkraantje aan het opvangsysteem voldoende was, wordt sinds 2023 verplicht gesteld het opgevangen regenwater voor zoveel mogelijk toepassingen in te zetten, maar zeker voor toiletspoeling. Een uitzondering hierop is het gebruik van een dergelijk regenwateropvangsysteem in appartementencomplexen in Vlaanderen, wat wordt beperkt tot de buitenkraan voor gemeenschappelijk groen of voor het wassen van auto's, maar toiletten worden er niet op aangesloten. Dat zou een slimme sturing vereisen, die het systeem erg duur zou maken.

Een andere optie om regenwaterpieken op te vangen, is het opvangen regenwater in de bodem te infiltreren, om op die manier het grondwater aan te vullen. Het is wel belangrijk dat daarvoor de juiste grondlagen beschikbaar zijn. In Vlaanderen is veel oppervlak verhard, waardoor geen natuurlijke infiltratie plaatsvindt. Het regenwater wordt in de praktijk dan afgevoerd naar de RWZI en vervolgens naar zee afgevoerd, wat een negatief effect heeft op de grondwaterstand. Wel worden er door lokale overheden maatregelen genomen om het percentage verhard oppervlak te verlagen, bijvoorbeeld door doorlaatbare klinkers verplicht te stellen, of een maximale terrasgrootte aan te geven, om zoveel mogelijk regenwater de mogelijkheid te geven in de bodem te infiltreren. Het infiltreren

van regenwater van het dak wordt niet toegestaan als alternatief voor de verplichte opvang van regenwater in tanks.

Continuïteit van de bron

Regenwater is geen continue bron, en het verschil in de beschikbaarheid kan groot zijn. Als regenwater binnenshuis voor toepassingen wordt gebruikt, kan het soms nodig zijn om het reservoir vanuit de drinkwaterleiding aan te vullen, maar het komt ook voor dat er te veel water is voor het reservoir. Voor overtollig water wordt tegenwoordig bij nieuwe gebouwen een infiltratieput aangelegd. Pas als die verzadigd is of infiltratie niet mogelijk is, mag het water naar het riool worden geleid.

Veiligheidsaspecten, wet- en regelgeving

Voor douchen en de vaatwasser is in Vlaanderen drinkwaterkwaliteit verplicht gesteld via federale wetgeving. Voordat een systeem in gebruik wordt genomen vindt een keuring plaats waarbij gecontroleerd wordt dat de drinkwateraansluiting voor de tank atmosferisch onderbroken is en er alleen toegestane aansluitingen in huis zijn. Er is echter geen controle geregeld op de kwaliteit van het opgevangen en gebruikte water en na de keuring worden soms toch dergelijke niet toegestane aansluitingen gemaakt. De drinkwaterbedrijven zijn hierbij niet betrokken. Dat is in principe wel logisch, omdat de drinkwaterleiding en het regenwatersysteem strikt gescheiden behoren te zijn. Toch is er wel een verbinding nodig tussen beide netten, omdat het regenwaterreservoir met kraanwater gevuld moet kunnen worden als het leeg raakt (omdat water nodig is voor toiletspoeling). Dit zou via een drukloze, open verbinding moeten worden aangelegd, zodat er geen water terug kan stromen naar de drinkwaterleiding.

De 'waterkeuring' vindt plaats bij nieuwbouw en grote verbouwingen, maar in andere gevallen is bij de autoriteiten meestal niet bekend dat er werkzaamheden hebben plaatsgevonden, en dat een keuring wenselijk zou zijn. Ook als je een huis koopt, is een waterkeuring niet verplicht. Die keuring kun je laten uitvoeren door een drinkwaterbedrijf, maar er zijn ook andere partijen actief die dergelijke keuringen aanbieden. Deze worden gecontroleerd door de Vlaamse Milieu Maatschappij (VMM). Bij de keuring van het drinkwatersysteem lijken niet vaak problemen te worden vastgesteld, en meestal betreft het dan bijvoorbeeld het ontbreken van een terugslagklep. Complicerende factor hierbij is dat bijvoorbeeld douchekoppen zonder terugslagklep gewoon te koop zijn. Ook blijken er verbindingstukken verkrijgbaar te zijn, om het regenwatersysteem direct aan de drinkwaterleiding te koppelen voor het bijvullen van het reservoir. Een betere marktregulering zou kunnen helpen problemen, die hierdoor kunnen worden veroorzaakt, te voorkomen.

Ondanks deze maatregelen wordt er in Vlaanderen een aantal keer per jaar een kruisverbinding opgespoord, meestal doordat mensen klagen over geur en smaak van het water, of doordat er gevallen van buikloop worden gemeld. In 2021 zijn er twaalf algemene meldingen geweest over mogelijke verontreinigingen van het drinkwater, maar in geen van deze gevallen is een wanverbinding opgespoord. Aangezien het aantal problemen gering lijkt, wordt er geen urgentie gevoeld om actie te ondernemen hiertegen. Wel is het belangrijk om de mensen er beter van bewust te maken, wat de risico's van een wanverbinding zijn. Bewustzijn dat hierdoor microbiologisch onveilig water in de drinkwaterleiding gebracht kan worden, waardoor een hele straat of wijk problemen kan ondervinden, is belangrijk om verantwoord gedrag te stimuleren. In veel gevallen zullen de eigenaren van de kruisverbinding zelf minder last hiervan ondervinden dan hun burens, mogelijk doordat hun afweersysteem zich eerder aan de situatie heeft aangepast. Sommige mensen denken ook dat de weerstand in de bevolking mogelijk toeneemt door meer blootstelling aan micro-organismen in water. Besmettingen hoeven niet altijd gepaard te gaan met geur- en smaakproblemen, en veel mensen zullen een buikgriep ook niet direct in verband brengen met een probleem met de drinkwaterkwaliteit. Als zich een dergelijke situatie wel voordoet, moet het hele leidingnet gespuid worden, wat tot een groot waterverlies leidt. Biologische groei in het regenwatersysteem kan leiden tot geur- en kleurproblemen (geel water in het toilet), en tot verstoppingen (van vlotters in toiletreservoirs). Het risico op legionellabesmettingen wordt als klein ingeschat, omdat het reservoir ondergronds is aangebracht en dus minder snel opwarmt. Het regenwater bevat echter meer voedingsstoffen, waardoor in de leidingen binnenshuis wel

verhoogde groei kan optreden. Aerosolen bij toiletspoeling of versproeiing in de tuin kunnen vervolgens leiden tot blootstelling aan verhoogde aantallen legionella.

Onderhoud

Onderhoud is de verantwoordelijkheid van de eigenaar van het systeem. Het grof filter zou eigenlijk jaarlijks vervangen moeten worden, maar in de praktijk worden dergelijke filters meestal langer gebruikt. Het GAK-filter blijkt vaak pas te worden vervangen als het water duidelijk te veel gekleurd is. Dit is in de praktijk ook de enige kwaliteitsmonitoring die plaatsvindt. Ook het vervangen van de filters is de verantwoordelijkheid van de eigenaar. Er wordt aangeraden het reservoir eens per vijf jaar leeg te maken en het slib te verwijderen. Hiervoor zijn richtlijnen opgesteld, maar er is geen verplichting. Het schoonmaken van het reservoir is niet eenvoudig, omdat al het water moet worden weggevoerd. Veiligheid is ook een aandachtspunt, want het is wel eens voorgekomen dat iemand bij dit werk bedwelmd is geraakt door schadelijke gassen die onderuit het reservoir vrij kunnen komen. De schoonmaak van een dergelijk reservoir kan daarom het best met twee personen worden uitgevoerd, en is het aan te raden het deksel van het reservoir eerst meerdere uren open te laten staan, alvorens aan de schoonmaak te beginnen. Aan het inhuren van een gespecialiseerd bedrijf zijn extra kosten verbonden. Het reservoir is na schoonmaak leeg is, en wordt dan vaak met kraanwater aangevuld.

Gevolgen voor drinkwatergebruik en -kwaliteit

Het totale watergebruik per persoon is in Vlaanderen de afgelopen tien jaar significant gedaald. Gemiddeld werd in 2022 ongeveer 89 L kraanwater per persoon per dag gebruikt, plus gemiddeld 11 L regenwater en 2 L grondwater (Vlaamse Milieumaatschappij 2024).

Een knelpunt voor het drinkwaterbedrijf is dat in droge periodes de regenopvangtanks leeg raken, terwijl mensen juist dan veel water willen gebruiken, onder andere voor hun tuin en het vullen van een zwembad. Dit leidt tot heel grote pieken in het drinkwaterverbruik. Het drinkwaterbedrijf probeert daarop te anticiperen, door tijdig een voorraad drinkwater aan te leggen. Ook hier speelt bewustwording een belangrijke rol. Mensen hebben dan namelijk de neiging hun opvangtank helemaal te willen vullen, terwijl voor een kwart vullen voldoende zou moeten zijn. Dit leidt tot grotere pieken in het verbruik dan nodig zouden zijn. Vooralsnog betekent dit alles voor het drinkwaterbedrijf dat zowel de zuiveringsinstallaties als het netwerk gedimensioneerd moeten zijn op het piekverbruik, met extra grote variaties in pieken. Het is al eens voorgekomen dat het drinkwaterbedrijf op een bepaalde plek geen of onvoldoende water kon leveren.

Kosten

De meeste Vlamingen denken dat regenwater daarentegen gratis is, maar in wezen is dat niet terecht, want het regenwateropvangsysteem met bijbehorend leidingnetwerk moet ook betaald en afgeschreven worden. Er is een inschatting gemaakt van de kosten, zonder voorfilter en infiltratiesysteem, maar inclusief de pomp (niet het leidingnetwerk) en de filters. De pomp verbruikt ongeveer €75,- per jaar aan energie, en het vervangen van het grof filter kost eveneens ongeveer €75,- per jaar. De levensduur van een regenwateropvangsysteem is 15-20 jaar. Uitgaande van een gemiddeld gezin van 2,3 personen kost het regenwater dan ongeveer €7,50/m³, als het water zoveel mogelijk wordt toegepast (dus voor toiletspoeling, wasmachine en buitenkraan). Indien alleen toiletten en de buitenkraan worden aangesloten op het regenwatersysteem, lopen de kosten op tot €10,- - €11,- /m³, en als alleen de buitenkraan wordt gebruikt met dit water, bedragen die kosten zelfs €50/m³. In Vlaanderen ligt de waterprijs op €5,- - €6,-/m³, maar dit is inclusief de kosten voor afvalwaterzuivering.

Het lagere drinkwaterverbruik in Vlaanderen heeft ook gevolgen voor de drinkwaterprijs. Voor klanten bestaat 4 tot 30 % van de drinkwaterprijs uit vaste kosten en 70 tot 96 % uit variabele kosten, maar voor de inkomsten van het drinkwaterbedrijf is dit andersom. Er is hierdoor een significante discrepantie ontstaan tussen de kosten en de inkomsten door een afname van het drinkwatergebruik, wat al een paar jaar tot financieel verlies voor het drinkwaterbedrijf heeft geleid (De Watergroep 2024). Dit zal uiteindelijk gevolgen moeten hebben voor de drinkwaterprijs, en het zal duurder worden om 24/7 drinkwater beschikbaar te hebben. Aangezien klanten met een

regenwatersysteem minder drinkwater afnemen, zouden deze extra kosten in de aansluitkosten moeten worden verrekend. In Vlaanderen zijn de kosten van drinkwater en afvalwaterzuivering geïntegreerd. Mensen die relatief veel regenwater gebruiken nemen minder drinkwater af, maar produceren meer afvalwater dan op basis van hun drinkwaterverbruik wordt ingeschat. Ook dit levert een discrepantie op, die uiteindelijk in de prijs verrekend moet worden.

Milieu-impact

Uit de literatuur blijkt dat de milieu-impact van een relatief simpel regenwateropvangsysteem, zonder zuivering, al vier keer zo hoog is als de milieu-impact van centraal geleverd drinkwater (Thomassen et al. 2021). Wel geeft De Watergroep aan dat eigenlijk in die LCA zou moeten worden meegenomen dat het regenwater nu niet meteen wordt afgevoerd naar de zee, wat op zichzelf weer bijdraagt aan de duurzaamheid.

Decentrale drinkwaterproductie uit opgevangen regenwater

Hoewel bovenstaande toepassingen van opgevangen regenwater allemaal betrekking hebben op water dat niet geconsumeerd wordt, is er ook onderzoek gedaan naar het zelf maken van drinkwater. Er is veel ervaring opgedaan met dergelijke systemen, maar het onderzoek werd geplaagd door storingen en het falen van installaties, en problemen met zowel de kwantiteit als de kwaliteit van de bron. Eén van de problemen bleek het stikstofgehalte van lokale bronnen te zijn, wat in de nabijheid van landbouw vaak te hoog is voor drinkwater. In het onderzoek is specifiek gekeken naar een landbouwer die op te grote afstand van het centrale drinkwaterleidingnet woont (De Watergroep 2024). Door het lange transport zou de drinkwaterkwaliteit achteruit gaan. Zelfreinigende netten hebben te kleine diameters, waardoor er te veel drukverlies optreedt, en bij grotere diameters treden sedimentatie en nagroei op. Omdat het drinkwaterbedrijf de waterkwaliteit tot aan de watermeter moet kunnen garanderen, hanteert de Watergroep een maximale afstand van 1 km. Er zijn twee onderzoeksprojecten uitgevoerd, waarbij het water na een lange aansluitleiding moet worden gedesinfecteerd. Hiervoor zijn vier technologieën getest. Het systeem van Corsa was gebaseerd op omgekeerde osmose (RO), maar de geproduceerde waterkwaliteit voldeed niet aan de eisen voor drinkwater. Het Valeco systeem, dat eveneens op RO is gebaseerd (met een remineralisatiestap), bleek snel operationele problemen te krijgen door verstopping. Drop2Drink en BOSAC zijn gebaseerd op ultrafiltratie gevolgd door UV-desinfectie. Gedurende een jaar werden er maandelijks monsters genomen, waaruit bleek dat drinkbaar water kon worden geproduceerd.

Tijdens de testen was het drinkwaterbedrijf verantwoordelijk voor het systeem en de monsternamen, maar als de bewoner dit zelf moet doen vormen de kosten zeker een probleem. Jaarlijks moet de UV-lamp worden vervangen, en om de vijf jaar ook de kwartsbuis. Dit kan de bewoner niet zelf doen. Het voordeel van iemand langs sturen voor onderhoud is wel dat die persoon dan meteen ook monsters kan nemen om de kwaliteit te controleren, maar dit is dan met een veel lagere frequentie dan drinkwaterbedrijven gewend zijn, en dan in de wet voor drinkwater is voorgeschreven. Daarom spreekt men liever van 'drinkbaar water' dan van 'drinkwater'. Voor de Watergroep past de verantwoordelijkheid voor decentrale drinkwaterzuiveringssystemen niet in het takenpakket, vanwege de inspanningen en kosten die met het onderhoud gemoeid zijn. Dat betekent dat systemen om zelf drinkwater te kunnen maken uit regenwater aan de vrije markt worden overgelaten. Hier doen zich echter ook wel problemen voor met de drinkwaterkwaliteit. Dit heeft geleid tot een wet, die voorziet in een meldingsplicht bij de VMM als iemand een dergelijk zuiveringssysteem installeert. Het gaat echter alleen om een meldingsplicht.

Voordelen van regenwateropvangsystemen

Een belangrijk voordeel van het Vlaamse systeem lijkt de bewustwording bij consumenten te zijn. Het is echter niet hard te maken dat dit alleen door het opvangsysteem en de aandacht voor water komt. Sinds 2021 worden digitale watermeters geïnstalleerd in Vlaanderen, wat ook lijkt bij de dragen aan een lager waterverbruik: 1,5 % minder verbruik binnen een jaar (https://www.nieuwsblad.be/cnt/dmf20210708_93048528). In een pilotproject gaf 18 % van de mensen aan hierdoor zuiniger met water om te gaan (Digitale watermeter | water-link). Doordat ze bewust bezig zijn met hun gebruik van water gebruiken ze vaak ook minder water, en blijken ze ook op andere manieren water te besparen. Zo zijn er mensen die het eerste, koude douchewater in emmers opvangen om het elders te

kunnen gebruiken, en worden er ook veel regentonnen, intermediate bulk containers (IBC's) en dergelijke toegepast met slangetjes, emmers en gieters.

Een groot voordeel van dit systeem is dat riooloverstorten veel minder vaak voorkomen (https://etaamb.openjustice.be/nl/besluit-van-de-vlaamse-regering-van-01-oktober-2004_n2004036641.html). Zeker in verband met klimaatverandering en bijbehorende optreden van piekbuien, is dit een belangrijk aspect om mee te wegen in de beslissing om regenwater al dan niet op te vangen.

I.II Regenwateropvangsystemen in Nederland; Mijn Waterfabriek

Opvang- en behandelingssystemen

'Mijn Waterfabriek' is een Nederlands bedrijf. Dit bedrijf produceert gebouwgebonden opvang- en behandelingssystemen voor water. Regenwater wordt gebruikt als bron voor verschillende waterkwaliteiten in woningen, bedrijven en utiliteitsbouw.

Het regenwater wordt opgevangen in een betonnen bak zodat er, vanwege de lage pH van regenwater, carbonaat in het water oplost. Hierdoor stijgt de pH tot ongeveer 7, wat voor toepassingen beter geschikt is. Het bicarbonaatgehalte blijft hierdoor echter wel onder de minimumeis voor drinkwater in het Drinkwaterbesluit (> 60 mg/L), hoewel die eigenlijk alleen geldt als water onthard wordt.

Om vuil te verwijderen wordt er vóór deze tank een filterput geplaatst met twee compartimenten die gescheiden zijn door een tussenschot. In het eerste compartiment wordt het regenwater gefiltreerd over een blauwe mat van 'Japanse wol' en daarna door circa 40 L zeolieten. Vervolgens stroomt het regenwater onder het schot door en wordt het gefilterd door circa 40 L actieve kool. In het geval er bij hevige buien te veel regenwater wordt aangevoerd, dan kan het water direct worden overgestort over het tussenschot. Omdat het eerste, meest vervuilde water ('first flush') in dat geval al wel gefilterd is, is het niet de verwachting dat deze overstort tot problemen zal leiden. Een foto van dit opvangsysteem is weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8: regenwateropvangsysteem met twee compartimenten. Links opvangsysteem, rechts 'Japanse wol'.

Het advies van Mijn Waterfabriek is om voor één maand regenwatervoorraad aan te houden, en bij mensen die geheel off-grid willen leven, drie maanden. Langer is wel mogelijk, maar dan moet het water belucht worden met behulp van een pomp, of het moet over het filtersysteem met de twee componenten worden gerecirculeerd.

Eén van de nadelen van het Vlaamse systeem, is dat er toch met enige regelmaat problemen ontstaan met de waterkwaliteit in het net, omdat 'vuil' regenwater in het drinkwaternet wordt gepompt. Dit leidt tot klachten in een hele straat of wijk. Mijn Waterfabriek richt zich daarom op zogenaamd 'hygiënisch water', dat microbiologisch veilig is, en dus ook gebruikt kan worden voor douche of bad. Hiervoor wordt opgevangen regenwater eerst gefiltreerd met behulp van microfiltratie, en daarna nog over een GAK-kolom. Vervolgens vindt ultrafiltratie (UF) plaats, en tot slot UV-desinfectie bij een UV-dosis van 40 mJ/cm². In dit systeem wordt gebruik gemaakt van ultrafiltratie in plaats van nanofiltratie (NF), omdat UF een erkende en bewezen techniek is voor verwijdering van microbiologie. De UF-membraanmodules zijn voorzien van KIWA-keur voor legionellapreventie. Het debiet bij de inlaat is 30 L/min., de recovery van het systeem is 98 %. Het systeem is uitgerust met een expansievat dat 24 L water kan bevatten, en wordt gebruikt om het filter 's nachts terug te spoelen. Dit spoelwater wordt op het riool geloosd (zie Figuur 9).

Van dit systeem is er een ook versie voor productiebedrijven voor microbiologisch veilig water ten behoeve van schoonmaak, koeling en bedrijfsprocessen.



Figuur 9: Model-installatie van Mijn Waterfabriek voor de productie van hygiënisch water uit opgevangen regenwater.

In Boskoop is een modelproject gestart in een gezinswoning (Pilot circulair watersysteem – Een circulair watersysteem in een particuliere woning)(Rotteveel and Rotteveel 2023), waarbij het systeem van Mijn Waterfabriek wordt gecombineerd met een grijswaterrecyclingsysteem. Dit is een systeem waarbij grijswater wordt hergebruikt. Het gaat dan om water uit douches, baden, wasmachines, drogers, warmtepompen en airconditioningunits. Het water wordt gezuiverd en gedesinfecteerd en kan worden gebruikt voor toiletspoeling, de was, tuinirrigatie en het bijvullen van zwembaden. Het doel van dit project is om 90 % te besparen op het drinkwaterverbruik, en de hoeveelheid afvalwater met 40 % te reduceren. In de keuken bevindt zich wel een aansluiting op het centrale drinkwaterleidingnet. Partijen die aan deze pilot meewerken zijn Oasen, Hoogheemraadschap Rijnland, Hydraloop, Mijn Waterfabriek, HWT Hemelwatertechniek, provincie Zuid-Holland en gemeente Alphen aan de Rijn. De aanbieder onderkent dat voor een enkelvoudige woning een dergelijk decentraal systeem voor water vele malen duurder is dan het conventionele systeem met een aansluiting op het

drinkwaterleidingnet en het riool. De gemeente Alphen aan den Rijn gebruikt deze pilot echter om te beoordelen of deze aanpak opgeschaald kan worden op wijkniveau en wat daarvan de implicaties zijn voor de infrastructuur, waterbalans en investeringen.

Naast dit 'hygiënisch water' heeft Mijn Waterfabriek ook installaties voor de productie van 'comfortwater'. Dit laat zich het beste vergelijken met huishoudwaterkwaliteit. Het kan worden gebruikt voor toiletspoeling, de buitenkraan en de wasmachine. Het zuiveringssysteem bevat een microfiltratie (MF)-eenheid en een actieve koolfilter. Als het niveau van het water te laag wordt, kan het via een (KIWA-gekeurd) atmosferisch onderbroken leiding via het kraanwater worden aangevuld, zodat toiletspoeling en dergelijke mogelijk blijven. Hierin komt het systeem overeen met het Vlaamse systeem, al wordt in dit systeem het water wel behandeld, en in Vlaanderen vaak niet (hoewel hier wel gebruik van een actieve koolfilter wordt aangeraden). Een foto van het systeem voor comfortwater is gegeven in Figuur .



Figuur 10: model-installatie van Mijn Waterfabriek voor de productie van comfortwater uit opgevangen regenwater

Wet- en regelgeving

Op de site van Mijn Waterfabriek (Bel 2024) wordt de wet- en regelgeving voor het gebruik van regenwater in Nederland beschreven. Die is vastgelegd in het Drinkwaterbesluit, NEN 1006, NEN-EN 16941-1, Waterwerkbladen 1.4 G, 3.8 en 4.7 en KIWA BRL-K14011.

Continuïteit van de bron

Ook in Nederland is regenwater niet continu beschikbaar. Juist in droge, warme periodes, als het waterverbruik het hoogste is, is de hoeveelheid beschikbaar regenwater klein. Om die reden worden de regenwatertanks groot gedimensioneerd op 100l/m² dakoppervlak en een minimum van 30 dagen voorraad. De tendens is om regenwatertanks steeds groter uit te voeren om enerzijds zoveel mogelijk water op voorraad te houden en

anderzijds zoveel mogelijk overlast bij hevige buien te voorkomen. Dit laatste was en is de belangrijkste reden voor de Vlaamse verplichting om regenwater op te vangen en te gebruiken.

Veiligheidsaspecten

Bij installatie van een systeem voor hygiënisch water van Mijn Waterfabriek wordt het gezuiverde water getest op twintig parameters (negen anorganische parameters, zes metaalparameters en vier microbiologische parameters), waarmee wordt gewaarborgd dat het systeem naar behoren functioneert. Daarna is het onderhoud echter de verantwoordelijkheid van de eigenaar, waarbij er wel altijd sprake is van een onderhoudscontract of herinnering van het uit te voeren onderhoud.

Net als in Vlaanderen brengt het gebruik van regenwater vooral microbiologische risico's met zich mee. In het systeem voor 'hygiënisch water' worden die risico's ondervangen. Gedurende een half jaar zijn met dit systeem testen uitgevoerd bij Hooghoudt Distilleerderij en een cateringbedrijf in Houten. Bij dit onderzoek waren WLN, ILNT en RIVM betrokken (D2D water Solutions 2020, Mijn Waterfabriek 2024). Microbiologisch voldeed het water volgens de leverancier aan de eisen voor drinkwater (al is er geen AMVD uitgevoerd), maar het voldeed niet altijd aan de chemische normen. Met name de gehalten ammonium en nitriet waren bij een aantal metingen te hoog, het calcium- en bicarbonaatgehalte te laag. Het natriumgehalte bleek trouwens ook erg laag te zijn. De gehalten aan ammonium en nitriet waren onder andere reden om aanvullend te gaan zuiveren met zeolieten. Analyseresultaten van het op deze manier gezuiverde water bij een particuliere woning zijn weergegeven in Tabel 1).

Tabel 1: analyseresultaten van waterkwaliteit van 'hygienisch water' bij een particuliere woning (Waterkwaliteit – resultaten eerste jaar (incl. PFAS) – Pilot circulair watersysteem)

Pilot Circulair Watersysteem particuliere woning								
Monitoring waterkwaliteit MijnWaterFabriek SafeWater systeem								
Analyse	Eenheid	Norm Drinkwater	Oasen zuiveringsstation De Steeg 2023 (1e 3 kwartalen)	Meting 1: Regenwater 27-11-2023	Meting 2: Regenwater 22-1-2024	Meting 3: Drinkwater 8-4-2024	Meting 3: Regenwater 8-4-2024	Meting 4: Regenwater 8-7-2024
Anorganische analyses								
Zuurgraad	pH	7 < pH < 9,5	8,1	8,14	7,76	8,26	7,23	7,23
Elektrisch geleidingsvermogen, 20°C	mS/m	< 125	43,1	31,9	21,1	57	6,39	6,64
Waterstofcarbonaat	mg/l	> 60	149,4	99	80	151	27	27
Troebelheid	FTU	< 4	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Kleurintensiteit (455 nm)	mg Pt-Co/l	< 20	7,1	24	18	3	7,2	9,3
Zuurstof	mg/l	> 2	10,7	11	9,3	10,4	6,5	8,1
Ammonium (NH ₄), na in situ filtratie (0,45µm)	mg/l	< 0,2	0	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,36	< 0,03
Nitraat (NO ₃), na in situ filtratie (0,45µm)	mg/l	< 50	3,2	5,78	4,36	3,47	4,69	4,69
Nitriet (NO ₂), na in situ filtratie (0,45µm)	mg/l	< 0,1	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,06
Metaal analyses								
Calcium (Ca), na aanzuren	mg/l	-	33,6	50,3	31,5	31,5	9,17	10,7
Magnesium (Mg)	mg/l	-	10,7	4,68	3,23	9,98	0,65	0,6
IJzer (Fe) (ICP-MS), na aanzuren	mg/l	< 0,2	0	< 0,01	0,034	< 0,01	0,022	0,02
Aluminium (Al) (ICP-MS), na aanzuren	µg/l	< 200	11,6	7,9	6,9	5,4	2,5	13,9
Zink (Zn) (ICP-MS), na aanzuren	µg/l	< 3000	?	309	365	11,6	628	225
Koper (Cu) (ICP-MS), na aanzuren	µg/l	< 2000	0,1	4,46	14,2	2,76	22,5	15
Microbiologische Analyses								
Bacteriën van de coligroep 37 °C 100ml	kve/100ml	< 1	0	< 1	< 1	0	< 1	< 1
Koloniegetal 22 °C 1ml	kve/100ml	< 100	1,6	36	8	13	< 1	74
Legionella, matrix B procedure 8,9,10	kve/l	< 100	?	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Enterococci 100ml	kve/100ml	< 1	0	0	0	0	0	0
PFAS								
Som PFAS	ng/l	< 100				16,5	6,27	
PEQ/l	ng/l	< 4,4				1,3	2,31	



Dit water kan volgens de leverancier prima worden gebruikt om te douchen, maar het mag geen drinkwater worden genoemd, omdat het dus niet altijd voldoet aan de normen voor drinkwater. Het uitvoeren van alle voor drinkwater verplicht gestelde analyses is echter te kostbaar voor een particulier huishouden.

Het zou goed zijn als er sensoren waren die online micro-organismen zouden kunnen detecteren. Volgens Mijn Waterfabriek zijn er twee bedrijven die iets dergelijks wel aanbieden:

- Bactiquant in Denemarken. Zij nemen monsters, doen er een groeimedium bij en stoffen waardoor de enzymactiviteit kan worden gedetecteerd aan de hand van de lichtopbrengst. Dit gebeurt op twee tijdstippen, met een halve tot 1 min. tussenpozen, en daardoor kun je min of meer online meten. Dit systeem is echter te duur voor individueel gebruik door particulieren. N.B. de website is niet meer te bereiken.
- MicroLAN van Joep Appels (Home - MicroLAN), dit systeem is vergelijkbaar met dat van Bactiquant.

Mijn Waterfabriek is aangesloten bij de Expertgroep Circulair Water van de Water Alliance (Water Alliance). Deze expertgroep heeft de volgende insteek om tot veilige circulaire systemen te komen (update 25-02-2025):

Ontwerp en installatie van regenwater- en grijswaterrecyclingsystemen

- Regenwatersystemen dienen te voldoen aan NEN-EN16941-1 en grijswaterrecyclingsystemen aan NEN-EN16941-2. Er dient een verwijzing naar deze normen te komen in de bestaande wet- en regelgeving, net zoals dat met NEN1006 het geval is.

- Omschakelsystemen van regen/grijswater op drinkwater en vice versa dienen voorzien te zijn van KIWA-keur volgens BRL K-14011, die een verwijzing heeft naar EN1717. Niet gekeurde toestellen mogen niet worden toegepast.
- De installatie en ingebruikname mag alleen uitgevoerd worden door erkende installateurs. Daarvoor moet er een erkenningsregeling komen, net als bij legionellabeheer.

Toepassingsgebied

- Als bron voor huishoudwater mogen zowel regenwater als gerecycled grijswater worden gebruikt
- De toepassing daarvan is conform NEN-EN16941 deel 1 en 2 voor toiletspoeling, het wassen van kleding en de buitenkraan.
- Daarnaast opteren we voor het erkennen van de watersoort 'hygiënisch water', dat geschikt is voor douchen, bad, zwembad en whirlpool. Als bron kan hiervoor regenwater worden gebruikt.

Waterkwaliteit

- NEN-EN16941-2 stelt eisen aan de waterkwaliteit van het gerecyclede grijze water. Grijswaterrecyclingsystemen moeten aantoonbaar hieraan voldoen en gekeurd zijn volgens de British Standard of NSF ANSI 350.
- NEN-EN16941-1 stelt geen eisen aan de waterkwaliteit van regenwater voor toiletspoeling, wassen van kleding en de buitenkraan.
- Hygiënisch water wordt nog niet benoemd in de wet- en regelgeving, maar de waterkwaliteit moet microbiologisch veilig zijn conform drinkwater.

Voorkomen van wanverbindingen

Om het risico bij wanverbindingen te minimaliseren zijn er meerdere opties:

- Er kan een terugstroombeveiliging in de drinkwaterleidingen in de meterkast worden geplaatst zodat het drinkwaternet te allen tijde beschermd is tegen fouten die in het betreffende gebouw zijn gemaakt.
- Er kan gewerkt worden met drukverschillen tussen regenwater/grijswatersystemen en drinkwatersystemen. Met druksensoren kan bewaakt worden of het drukverschil intact blijft. Is dat niet zo, dan is er een grote kans op een wanverbinding en volgt er een automatisch omschakeling op leidingwater.

Vanuit de Expertgroep Circulair Water van de Water Alliance, waarvan Mijn Waterfabriek deel uitmaakt, zijn onlangs (maart 2025) de volgende voorstellen gedaan om de veiligheid te vergroten:

Ontwerp en installatie van regenwater- en grijswaterrecyclingsystemen

- Regenwatersystemen dienen te voldoen aan NEN-EN16941-1 en grijswaterrecyclingsystemen aan NEN-EN16941-2. Er dient een verwijzing naar deze normen te komen in de bestaande wet- en regelgeving, net zoals dat met NEN1006 het geval is.
- Omschakelsystemen van regen/grijswater op drinkwater en vice versa dienen voorzien te zijn van KIWA-keur volgens BRL K-14011, die een verwijzing heeft naar EN1717. Niet gekeurde toestellen mogen niet worden toegepast.
- De installatie en ingebruikname mag alleen uitgevoerd worden door erkende installateurs. Daarvoor moet er een erkenningsregeling komen, net als bij legionellabeheer.

Toepassingsgebied

- Als bron voor huishoudwater mogen zowel regenwater als gerecycled grijswater worden gebruikt
- De toepassing daarvan is conform NEN-EN16941 deel 1 en 2 voor toiletspoeling, het wassen van kleding en de buitenkraan.
- Daarnaast opteren we voor het erkennen van de watersoort 'hygiënisch water', dat geschikt is voor douchen, bad, zwembad en whirlpool. Als bron kan hiervoor regenwater worden gebruikt.

Waterkwaliteit

- NEN-EN16941-2 stelt eisen aan de waterkwaliteit van het gerecyclede grijze water. Grijswaterrecyclingsystemen moeten aantoonbaar hieraan voldoen en gekeurd zijn volgens de British Standard of NSF ANSI 350.
- NEN-EN16941-1 stelt geen eisen aan de waterkwaliteit van regenwater voor toiletspoeling, wassen van kleding en de buitenkraan. Wat is jouw mening hierover?
- Hygiënisch water wordt nog niet benoemd in de wet- en regelgeving, maar de waterkwaliteit moet microbiologisch veilig zijn conform drinkwater.

Onderhoud

De particuliere eigenaar van het systeem van Mijn Waterfabriek is verantwoordelijk voor het onderhoud ervan. Omdat de UV-lamp in een systeem voor hygiënisch water continu aan staat, wordt aangeraden hem jaarlijks te vervangen. Het UF-filter moet eens per één of twee jaar gereinigd worden door een spoeling met een base en een zuur om de poriën goed open te houden. Dat gebeurt zowel op locatie als op de fabriek bij Mijn Waterfabriek. Dan vindt eveneens een integriteitstest plaats op de membranen.

Afhankelijk van de waterkwaliteit en het debiet moet het MF-filter van een comfort-installatie één tot vier keer per jaar worden vervangen, en het GAK-filter één of twee keer per jaar. In de praktijk blijkt echter dat beide filters meestal slechts eens per jaar worden vervangen, omdat de waterkwaliteit goed genoeg is.

De aanbieder gaat ervan uit dat regenwateropvang en -zuiveringsinstallaties vooral individueel per woning zullen worden aangelegd. Dan is er ook geen discussie over wie verantwoordelijk is voor het systeem en het onderhoud. Bij huurhuizen zou die verantwoordelijkheid bij de coöperatie moeten komen te liggen en dan bestaat de mogelijkheid voor een collectief systeem voor meerdere woningen. Wel moet er dan bemeterd worden als meerdere mensen van hetzelfde systeem gebruik maken, om te voorkomen dat een enkele persoon al het gezuiverde regenwater gebruikt om zijn tuin te sproeien en een andere geen gratis regenwater heeft voor het spoelen van het toilet. Bij appartementencomplexen wordt dit geregeld via een VVE. Voor behandeling van grijswater liggen vooral collectieve systemen voor de hand, vanwege de grotere technische impact. Ook nemen dergelijke systemen veel ruimte in beslag: er zijn twee vaten nodig, die elk ongeveer $1\text{m}^2/1\text{m}^3$ grijswaterrecycling aan oppervlak vragen. Dat maakt installatie in gemiddelde individuele woningen niet aantrekkelijk. Voor appartementencomplexen, sportcentra en hotels is grijswaterrecycling wel kansrijk.

Kosten

De materiaalkosten bij aanleg van de systemen van Mijn Waterfabriek zijn weergegeven in Tabel 2. De installatiekosten zijn ongeveer 40 – 50 % van de materiaalkosten. Deze informatie is afkomstig van een webinar van de aanbieder (Bel 2024).

Tabel 2: materiaalkosten van regenwatersystemen van Mijn Waterfabriek (webinar 16-10-2024). Dit is dus exclusief installatiekosten en BTW.

	Kosten (€)	Energieverbruik (kWh/jaar)
HOME comfort (voor comfort water)	4.000	40
HOME SafeWater (voor hygiënisch water, ook voor douchen)	8.000	450
regenwatersysteem PRO	4.500	60
regenwatersysteem business	10.000 – 50.000	Afhankelijk van configuratie
regenwatersysteem business Safe Water	15.000 – 50.000	Afhankelijk van configuratie

N.B. bij sommige tanks is het nodig om te heien om een tank ondergronds te kunnen aanleggen. De kosten kunnen hierdoor toenemen.

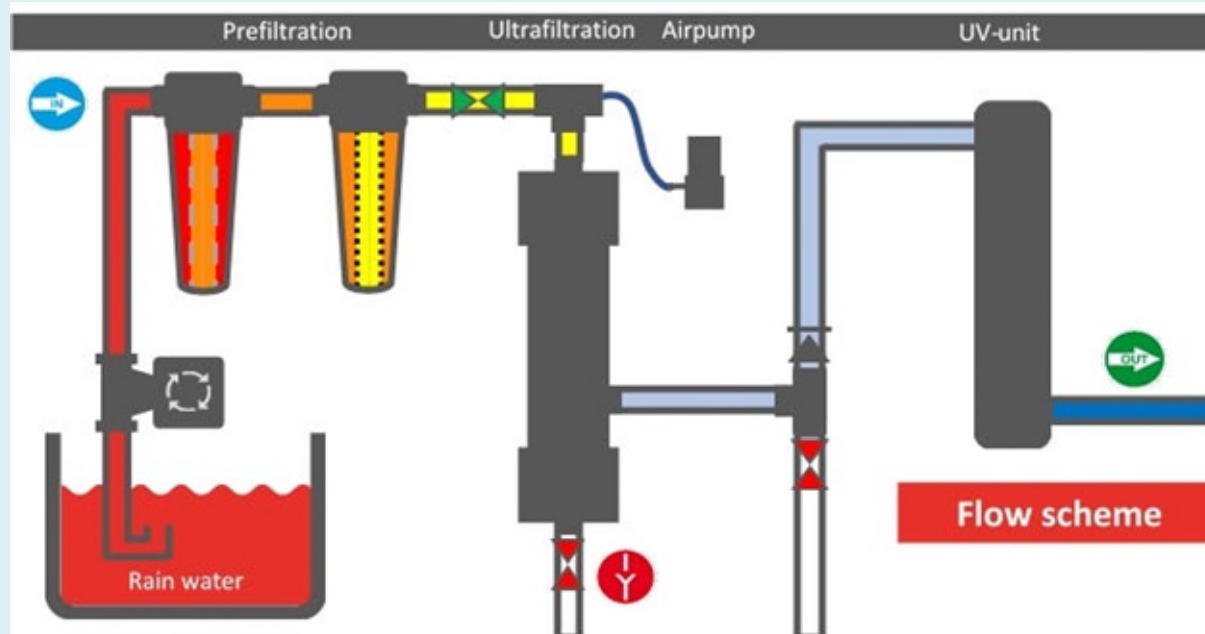
De materialen voor onderhoud zijn verkrijgbaar bij Mijn Waterfabriek. De kosten zijn als volgt

- Microfiltervliezen € 12,50 (voor twee jaar)
- Actieve kool € 30,- (voor twee jaar)
- UV-lamp € 30,- (per jaar)
- Spoeling UF-membraanmodule € 100,- (per één of twee jaar)

Volgens de aanbieder kost het drinkwater in Nederland gemiddeld €2,05/m³, zakelijke klanten betalen gemiddeld €1,02/m³. Dit zou betekenen dat het rendement 3% is voor woningen, en voor bedrijven en utiliteiten 3 – 8 %. Hoe hoger het regenwaterverbruik, hoe hoger het rendement zou zijn. Met deze rendementen rekent de aanbieder voor dat de installatie in ongeveer 30 jaar zou kunnen worden terugverdiend.

Decentrale drinkwaterproductie uit opgevangen regenwater

De eigenaar van Mijn Waterfabriek is ook oprichter en eigenaar geweest van het bedrijf D2D Water Solutions, leverancier van de Drop2Drink unit (Figuur 10). Deze kent nagenoeg dezelfde zuiveringstechniek als het SafeWater systeem van Mijn Waterfabriek voor hygiënisch water. Het bedrijf D2D Water Solutions claimt echter dat er drinkwater uit regenwater wordt gemaakt met de Drop2Drink-unit en gaat daarmee een stap verder dan Mijn Waterfabriek.



Figuur 10: opstelling om van regenwater drinkwater te maken, volgens het concept van Drop2Drink.

Dit systeem is meegenomen in de testen van De Watergroep.

I.III Regenwateropvangsystemen in Nederland; tiny house in Katwijk

Opvang- en behandelingssysteem

Het project Duinvallei (Figuur 11) was een initiatief van één van de huidige bewoners voor de invulling van een braakliggend terrein in Katwijk. De gemeente had gevraagd om ideeën voor gebruik daarvan voor de komende tien jaar. Daarna zou het terrein gebruikt moeten worden voor uitbreiding van de snelweg. Via facebook zijn geïnteresseerden, onder wie de initiatiefnemers van project Duinvallei, bij elkaar gekomen om een zelfvoorzienend wijkje met tiny houses te ontwikkelen. De gemeente zou er geen voorzieningen aanleggen. De initiatiefnemer is zich bewust van de problemen die spelen in de drinkwatersector (kwantitatieve tekorten aan bronnen voor water, tekorten aan kwalitatief goede bronnen voor drinkwater). Regenwater is volgens hem een goede bron om drinkwater van te maken, maar drinkwaterbedrijven kunnen daar onvoldoende gebruik van maken, doordat het grootste deel van het regenwater snel wordt afgevoerd naar oppervlaktewater en uiteindelijk naar zee. Lokaal is op dit gebied meer mogelijk.



Figuur 11: Project Duinvallei in Katwijk

Bij de tiny houses in deze wijk wordt het regenwater opgevangen in een buffertank met bladvang ervoor. Het water passeert een grof filter, fijn filter en actieve koolfilter (10 μm), en uiteindelijk wordt, afhankelijk van de woning, UV-desinfectie of omgekeerde osmose (RO) toegepast om er drinkwater van te maken. De gebruikers (Bulk 2021, Tiny Houses Duinvallei 2023) beschikken over een 1500 L opvangtank, een 25 μm fijn filter (in een blog wordt ook een 0,9 – 0,2 micron keramisch filter genoemd) en LED-UV (Pearl Aqua Deca).

N.B. Deze informatie (25 μm fijnfilter en 0,9 – 0,2 micron keramisch filter) lijkt niet met elkaar in overeenstemming, maar is als zodanig door de leverancier van het systeem aangeleverd.

De toegepaste UV-dosis is niet bekend. Volgens de leverancier zenden deze lampen een golflengte zoals 255, 265 en 275 nm uit, alleen is onbekend welke golflengte deze specifieke lamp uitzendt. Installatiebedrijf GEP heeft de tank en het systeem geleverd, maar de gebruiker heeft er zelf veel aan veranderd. De first flush wordt afgevoerd, en er is een grof filter voor de tank aangebracht. Dit voorkomt echter niet dat er zich zand in de tank zich ophoopt. De afmetingen van zijn dak zijn ongeveer 9,5 * 3m. Het platte dak is gemaakt van bitumen. Het schuine deel van het dak bestaat uit metalen platen.

De capaciteit van de opvangtank is op dit moment beperkend. Bij lange droogte van meer dan vijf weken, moet de tank worden bijgevuld. Op het terrein bevindt zich één drinkwateraansluiting, waarmee vanuit een tuinslang de tank voor circa een kwart wordt bijgevuld.

Een impressie van de installatie is gegeven in Figuur 12.



Figuur 12: impressie van de waterbehandelingsinstallatie bij een tiny house in Katwijk en de recirculatiedouche in de woning.

Op het terrein bevindt zich een opslagtank van 4000 L, die is bedoeld voor de gedeelde wasmachine in de wijk. De initiatiefnemer van het project Duinvallei wil onderzoeken of die te gebruiken is als reservebron in tijden van droogte, zodat ze niet meer afhankelijk zijn van het drinkwatertappunt. Het grijswater wordt door middel van een helofytenfilter gezuiverd, en de gebruiker wil uitzoeken of dit mogelijk ook gerecycled kan worden. Doorgaans ligt het helofytenfilter echter droog omdat het water infiltreert.

Waterkwaliteit en -kwantiteit

Voor de toepassingen is drinkwaterkwaliteit nodig. Het water uit dit systeem is door Het Waterlaboratorium (HWL) getest, de resultaten zijn samengevat in Tabel 3, en vergeleken met bijlage A van Het Drinkwaterbesluit (Dutch Government 2018).

Tabel 3: waterkwaliteit behandeld water tiny house en eisen Drinkwaterbesluit.

Parameter	Water tiny house	Drinkwaterbesluit
pH	6,74	7,0 – 9,5
EGV (elektrisch geleidingsvermogen) (mS/M)	4.3	< 125
Ca (mg/L	2.16	
Mg (mg/L)	0.59	
Totale hardheid (mmol/L)	0,08	>1
NH ₄ ⁺ (mg/L)	<0.02	<0.20
NO ₃ ⁻ (mg/L)	2.10	<50
NO ₂ ⁻ (mg/L)	<0.007	<0.1
Koloniegetal (kve/ml)	0	<100
Bacteriën coligroep (kve/100 ml)	0	0
Enterococcen (kve/100 ml)	0	0
ATP (ng/L)	63	Over algemeen <10, gemeten tussen 0,8 en 12*)

*) Er is geen wettelijke norm voor ATP, een aantal drinkwaterbedrijven past deze grenswaarde toe als alternatief voor Koloniegetal 22° (van der Wielen and van der Kooij 2010) (van Bel. et al. 2024).

De gebruiker is zich bewust van de risico’s van een tekort aan water tijdens droogte, en storingen van de pomp of de zuiveringsapparatuur, wat gelukkig tot nu toe niet is voorgekomen. Het is wel belangrijk de juiste pomp te kiezen op basis van advies door professionele installateurs van regenwatersystemen (goedkope (vijver)pompen blijken snel stuk te gaan).

Onderhoud

De gebruiker voert het onderhoud zelf uit. Het eerste groffilter wordt nu nog handmatig teruggespoeld, maar op den duur wil hij dit automatiseren. Filters worden hiervoor visueel beoordeeld: als bruine doorslag tot de helft waarneembaar is, wordt een filter vervangen. Hij overweegt nu deze gebruikte filters in te zetten om het water voor de buffertank te filteren. Actieve kool wordt na maximaal één jaar vervangen, omdat de werking niet kan worden getest.

De initiatiefnemers van project Duinvallei zijn de enige gebruikers van het systeem, maar elke laatste zaterdag van de maand wordt er een buurtborrel georganiseerd, waarbij bezoekers welkom zijn het project te bezoeken en informatie in te winnen. Dan wordt het gezuiverde water als drinkwater aangeboden.

Kosten

De kosten van decentrale systemen worden nu gebaseerd op leveranciersprijzen, maar de gebruiker verwacht dat die zullen zakken als de markt toeneemt. Als doe-het-zelver kun je hier veel kosten op besparen (mits je verstand hebt van water en waterkwaliteit, wat hiervoor belangrijk is).

I.IV Decentrale waterbehandeling op eiland Pampus

Het eiland Pampus ligt in de buurt van Amsterdam in het IJ. Hier bevindt zich een oud fort, waar veel toeristen komen. Hoewel er geen mensen wonen, is het wel mogelijk om er te kamperen of een vakantiehuisje te huren. Voorlichting over duurzaam gebruik van bronnen en energie is één van de doelen van Pampus. Er zijn lesprogramma's, schoolreisjes, een rondleiding energie/water enz.

Drinkwater wordt altijd aangevoerd met een IBC (Intermediate Bulk Container; 1 m³) vanaf het vasteland. Het transport duurt vijf uur, en aangezien de temperaturen soms hoog oplopen, verslechtert dit de waterkwaliteit. Bovendien kunnen er bij het vullen, transporteren en aansluiten risico's op verontreiniging optreden. Bij festivals, noodvoorzieningen en drinkwater dat in het buitenland via tankwagens wordt geleverd, wordt er daarom altijd een restgehalte chloor toegevoegd (Drinkwaterbesluit, tabel IIIa: 0,1 – 0,2 mg/L vrij chloor verplicht).

N.B. Dit geldt voor drinkwatervoorzieningen op mijnbouwinstallaties. De contacttijd tussen het chloor en het water moet ten minste 30 minuten bedragen.

Het gebruik op Pampus is dat het drinkwater voor consumptie gekookt moet worden. Voor 'verbruikswater' is nu een zuivering op het eiland aangelegd, die gebruik maakt van water uit het IJmeer. Pampus streeft er naar duurzaam en zelfvoorzienend te zijn, en daarin een voorbeeldrol te vervullen. De benodigde energie is afkomstig van twee windmolens en 254 zonnepanelen op het eiland. Het motto is 'Als het op Pampus kan, kan het overal'. Het geheel is als demonstratieproject bedoeld en Pampus wil zijn kennis graag delen. Overal hangen plakaten met uitleg, en ook de container met de zuiveringsinstallatie zelf fungeert als informatiebord. Op het toilet hangen bv. briefjes dat het water er bruiner uit kan zien dan mensen gewend zijn.

Behandelingssysteem

Het systeem (Figuur 1313) is gebouwd door Jotem Waterbehandeling, met medewerking van Van Remmen UV Techniek, NX Filtration, HWL, Grundfos, waterschap Amstel Gooi en Vecht, en aan de zijlijn Waternet.



Figuur 13: waterzuiveringssysteem op eiland Pampus

Jotem wilde een systeem aanleggen dat robuust, simpel, innovatief maar ook 'old school' zou zijn. Met dat laatste wordt bedoeld 'robuust, eenvoudig en bewezen effectief'. Er is een systeem aangelegd dat bestaat uit een langzame zandfilter, nanofiltratie (NX Filtration) met lage recovery, en een gevalideerde UV-C reactor. De UV-reactor heeft een gekalibreerde absoluut sensor. Door de hoge UV-transmissie (UV-T) van het water na filtratie kun je daaraan al snel zien als de NF niet helemaal goed werkt als met deze sensor een dip gemeten wordt. Dit is één keer gebeurd, waarbij rietjesbreuk werd opgemerkt via de UV-sensor. Er is zo een dubbele basis voor desinfectie, zowel met NF als met UV (en LZF). Dit is ook noodzakelijk, omdat oppervlaktewater in principe nooit in één stap gedesinfecteerd kan worden, en dus een dubbele barrière-methode wordt gehanteerd om extra veiligheid te

garanderen. Na de UV-desinfectie wordt het water in een buffervat opgeslagen. 's Nachts is het verbruik aanzienlijk minder, en op die manier kan 's nachts de voorraad voor overdag worden aangevuld.

Het debiet is 500 L/uur met als streven 15 m³/d, maar dit verbruik wordt nog niet gehaald. Officieel is dit geen drinkwater, want dat wordt alleen door drinkwaterbedrijven geleverd. Het is 'gebruikswater', bv. voor toiletspoeling, maar streven is wel 'drinkbaar water' te produceren voor het eiland. Ook de term 'Pampuswater' wordt gebruikt. In principe zou je dit water als 'mineraalwater' mogen verkopen volgens de beheerder van de installatie. Met de huidige zuivering wordt in principe drinkwaterkwaliteit behaald, maar om drinkwater te mogen heten, moet het water volgens een bepaald schema op diverse parameters regelmatig getoetst worden. Er ligt een meetplan klaar, waarmee het water wel als drinkwater gekenmerkt zou kunnen worden volgens het Drinkwaterbesluit.

Er wordt nu een beperkte continue controle op het proces uitgevoerd, via de UV-sensor en het besturingssysteem dat online uit te lezen is. Als er iets mis is, gaat er een push-bericht uit. Elke maand wordt het water op verschillende gebruikspunten getest door HWL. Een overzicht van de effluentkwaliteit over de periode mei t/m november 2024 wordt gegeven in Tabel 43. Over het algemeen voldoet het water aan de normen uit het drinkwaterbesluit. Eén keer is het mangaangehalte te hoog, het is onduidelijk waardoor dat veroorzaakt is. Wel blijkt dat de bedrijfsparameter koloniegetal in de meeste gevallen niet aan de eisen voor drinkwater voldoet. Men is bezig de frequentie waarmee de installatie met chloor of citroenzuur wordt gespoeld te optimaliseren, en de verwachting is dat bij een optimale bedrijfsvoering de koloniegetallen omlaag zullen gaan.

De energie is afkomstig van zonnepanelen op de boven- en zijkant van de container, in combinatie met batterij-packs. Het drinkwater wordt nog steeds met IBC's aangeleverd, en vervolgens gekookt.

Tabel 4: overzicht van analyses uitgevoerd op het NF-effluent op Pampus. Ca en Mg worden in het drinkwaterbesluit niet afzonderlijk genoemd, maar samengevat onder 'hardheid'. Overschrijdingen van de norm van het drinkwaterbesluit zijn in rood weergegeven.

NF-effluent								drinkwaterbesluit
datum		24-5-2024	12-6-2024	10-7-2024	7-8-2024	16-10-2024	29-11-2024	
	eenheid							
geur		0	0	1	0	0	0	
smaak		0	0	0	0	0	0	
pH		8,2	8,02	8,11	7,48	7,93	7,95	7,0 - 9,5
NH ₄	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	0,12	<0,02	<0,02	0,2
Ca	mg/L	45,09	38,18	45,83	46,62	36,83	40,72	
Cl	mg/L	104	102	114	117	118	114	150
EGV	mS/m	56,2	51,9	59,1	60,6	53,6	54,9	125
Mg	mg/L	9,65	7,71	10,4	11,9	8,72	9,68	
NO ₃	mg/L	2,97	2,36	1,92	<0,89	1,08	2,01	50
NO ₂	mg/L	<0,007	<0,007	<0,007	0,039	<0,007	<0,007	0,1
Hardheid	mmol/L	1,52	1,27	1,57	1,65	1,28	1,42	>1
HCO ₃	mg/L	154	135	146	146	121		>60
Fe	µg/L	<5	<5	<5	<5	<5	<5	200
Mn	µg/L	<5	<5	<5	144	<5	<5	50
Al	µg/L	1,2	<1,0	<1,0	1,5	<1,0	<1,0	200
koloniegetal	kve/ml	44000	17	22	1600	1400	120	100
coligroep	kve/100 ml	0	0	0	0	0	0	0
enterococcen	kve/100 ml	0	0	0	0	0	0	0

Bronkwaliteit

Oorspronkelijk is gekeken naar verschillende bronnen: water uit het IJmeer, regenwater en de IBC's die van oudsher worden aangeleverd. Vanwege de beschikbaarheid en vrij constante kwaliteit is uiteindelijk gekozen voor het IJmeer. Vroeger was er wel een regenwateropvang op het eiland, maar dat is geen constante bron, en het oude reservoir was dringend aan vernieuwing toe (wat veel impact zou hebben op het fort zelf, dat een beschermde status heeft). Er zijn natuurlijke effecten die de kwaliteit van het IJmeer beïnvloeden, zoals algengroei, en wellicht komen RWZI effluent en riooloverstorten ook in het IJmeer terecht, maar over het algemeen is de kwaliteit redelijk constant. Het NF-membraan draait op een lage recovery, waardoor het concentraat in het IJmeer geloosd mag worden. De UV-T sensor alleen is onvoldoende als desinfectie-check, en daarom wordt het water één keer per maand microbiologisch bemonsterd op E.coli. Verder worden chemische parameters dan gecheckt (zie 3).

Mocht de waterkwaliteit onvoldoende blijken te zijn bij een analyse, dan kan het eiland altijd nog terugvallen op IBC's. Als het echt de enige waterbron van het eiland zou zijn, zou de uitvoering van het systeem redundant moeten zijn, om eventuele storingen te kunnen opvangen.

Kosten

De kosten bedragen ongeveer €0,30 - €0,45/m³ voor de directe NF. De kosten voor UV-desinfectie zijn sterk afhankelijk van het behandelde debiet. Bij 1 m³/uur bedragen de kosten €0,06/m³, terwijl dit bij 110 m³/uur nog slechts €0,0047/m³ is. Verder zijn er natuurlijk nog kosten voor opslag nodig. Bij drinkwater moet rekening worden gehouden met kosten van transport en opslag, en de belasting op drinkwater. De zuiveringsinstallatie is geschonken door de partijen. Het is niet besproken of de (commerciële) kosten voor de bouw en levering van de installatie in voorgaande berekening zijn opgenomen.

Onderhoud

Jotem is verantwoordelijk voor de zuivering. Op het eiland zelf is de beheerder een soort technische dienst. Jotem is hoofdcontact en stuurt de anderen aan. Er wordt aangeraden bij dit soort projecten samen te werken met de overheid en het liefst ook een drinkwaterbedrijf.

Van Remmen UV-Techniek benadrukt dat decentrale drinkwaterzuivering goed mogelijk is, maar alleen als er geen centraal alternatief mogelijk is.

I.V Camping in Zeeland

In Zeeland doet zich de situatie voor dat er in de zomer, als de kans op droogte het grootst is, juist heel veel toeristen zijn én de landbouw veel water nodig heeft. Dit zorgt voor een groot verschil in watergebruik over het jaar, waarbij zelfs water uit het Hollands Diep met schepen wordt aangevoerd ten behoeve van de landbouw. Om hier iets aan te doen hebben lokale boeren, het waterschap, de provincie, de campingeigenaar van camping Olmenveld (Figuur) en PureBlue de handen ineen geslagen voor een pilotproject (PureBlue 2024). Hierin wordt het afvalwater van de camping na zuivering toegepast in de lokale landbouw.

Zuiveringssysteem

Op de camping wordt zwart en grijswater gemengd, waar ook regenwater bij komt. Het water ondergaat eerst een biologische zuivering (op dragertechnologie, ontwikkeld door PureBlue), waarna dissolved airflotation (DAF) wordt toegepast. Hierbij ontstaat een ingedikt slib, en water, waaruit kleine deeltjes met behulp van een filter worden verwijderd. Ten slotte wordt een UV/H₂O₂ systeem toegepast om organische microverontreinigingen (OMV) te verwijderen en desinfectie te verkrijgen. Het ingedikte slib heeft een hoge calorische waarde, waardoor het beter te vergisten zou moeten zijn dan primair slib. Dit wil PureBlue verder laten onderzoeken. In de buurt van de camping is een groot bufferbekken (20.000 m³) aangelegd voor het gezuiverde water (Stimulus Programmamanagement 2024). De boeren uit de omgeving kunnen dit water gebruiken voor hun gewassen.

Uiteraard kan dit water besmet worden door bijvoorbeeld vogels, maar het bevat geen humane pathogenen meer en ook geen of heel weinig OMV, volgens PureBlue.

Er is gekozen voor een UV/H₂O₂ systeem voor verwijdering van organische microverontreinigingen (OMV) omdat een systeem gebaseerd op ozon op kleine schaal lastiger uitvoerbaar is. Het regenwater wordt via putjes in de straten en van daken opgevangen. Het wordt zoveel mogelijk langs de zuivering op geleid, omdat dat minder rigoreus gezuiverd hoeft te worden.



Figuur 14: Camping Olmenveld in Serooskerke (PureBlue 2024)

Beschikbaarheid en kwaliteit van de bron

Er zijn grote fluctuaties in de hoeveelheid regenwater die wordt opgevangen. De hoeveelheid zwart en grijswater is uiteraard sterk afhankelijk van de bezetting van de camping, maar in de zomer verblijven hier in de regel veel gasten, die allemaal afvalwater produceren. De uitbater van de camping heeft het gezuiverde water laten testen. Er wordt continu gemonitord op afgeleide parameters, zoals het zuurstofgehalte, pH en troebelheid. Voor toepassing in de landbouw is geen duur monitoringsprogramma vereist. Boeren in de omgeving gebruikten voorheen vaak RWZI-effluent voor hun aardappelteelt, maar het water uit deze pilot is naar verwachting veel schoner.

Risico's

Het voornaamste risico is overstort van hemelwater naar de zuivering, bij hevige regenval. Hierdoor kan ongezuiverd water in het systeem terechtkomen.

Onderhoud

De campingeigenaar is verantwoordelijk voor het onderhoud van het systeem, maar omdat dit een pilot betreft gebeurt dat in nauwe samenwerking met de leverancier PureBlue. Omdat het meeste geautomatiseerd is, is hier niet veel werk mee gemoeid. Wel zijn er 'service level agreements' afgesproken met de campingeigenaar, en is het belang van preventief onderhoud benadrukt.

Kosten

De campingeigenaar heeft een subsidie gekregen, waardoor zijn terugverdientijd nu 7 – 10 jaar is. Omdat hij geen afvalwater meer loost, is hij in gesprek met het waterschap om hier minder aan af te hoeven dragen, wat bijdraagt aan de financiële haalbaarheid van het systeem. Daarnaast wordt ook gekeken of de warmte uit het afvalwater ook gebruikt kan worden. Modulair bouwen in combinatie met automatisering (waardoor weinig menskracht nodig is om het systeem te laten functioneren) bleek prijstechnisch het gunstigste te zijn.

I.VI Superlocal

In Kerkrade bevond zich een verouderde wijk met vier flats. Hiervan zijn er drie afgebroken, en is de vierde gerenoveerd, waarbij materialen uit de gesloopte flats zijn hergebruikt en uitgebreid met een nieuwe flatgedeelte. Tevens zijn er, deels met die materialen, nieuwe grondgebonden en modelwoningen gebouwd. De nieuwe wijk moet een heel duurzame wijk worden, en één van de aandachtspunten daarbij is het watersysteem. Het was de bedoeling een gesloten waterkringloop te realiseren, die 130 huishoudens van drinkwater zou voorzien, dat is opgevangen op daken en wegen en gezuiverd in het gebied zelf. Hiervoor heeft het project in 2018 €2,5 miljoen Life-subsidie gekregen van de EU (Gemeente Kerkrade 2023). woningcorporatie Heemwonen, Waterleidingmaatschappij Limburg (WML), Waterschapsbedrijf Limburg (WBL, nu WL) en de gemeente Kerkrade zijn betrokken bij het Superlocal project (Figuur 2)

In het ambitieuze project wordt in de praktijk onderzocht of er van regenwater drinkwater geproduceerd kan worden, of er bespaard kan worden op het waterverbruik en of de gescheiden afvalwaterstromen behandeld en reststromen (slib en effluent) hergebruikt kunnen worden. Dus de nodige uitdagingen wat betreft techniek, wetgeving, samenwerking en acceptatie. Met dit project willen we een stap maken in het transitieproces.

De keuze voor deze locatie is destijds gevallen omdat het idee van een gesloten waterkringloop goed aansluit bij het duurzame project Superlocal met maximaal behoud van alle waarden. Bij aanvang was het bekend dat de schaalgrootte te klein was om rendabel te worden. Tauw heeft destijds (2017) berekend dat dit pas het geval is bij 500 - 1000 woningen.



Figuur 25: Afvalwaterzuivering bij Superlocal in Kerkrade (foto's gemaakt door Ad de Man van WL)

Afvalwaterzuivering

Zwartwater van de vacuümtoiletten wordt, samen met gemalen voedselresten in de flat, afgevoerd via een vacuümsysteem en vergist, om biogas en een meststof te produceren. Alle aangesloten grondgebonden woningen zijn voorzien van een voedselrestenvermaler, voor de flat is vanwege de kosten gekozen voor een centrale voedselrestenvermaler. Deze is geplaatst in de gemeenschappelijke ruimte onderin de flat naast twee wasmachines. De gemeenschappelijke vermaler was één van de eerste in haar soort. Na een jaar is deze vervangen door een verbeterd type, waardoor de voedselresten beter vermalen worden en door een aangepaste spoeling wordt de vermaler beter schoon gehouden. Daarnaast was er bij aanvang ook sprake van onjuist gebruik van de vermaler door de bewoners. Dit gaf problemen bij de vermaler, in het vacuümstation en de vergister. Inmiddels is wordt de vermaler wel op een juiste manier gebruikt door bewoners die hun afval scheiden. De bewoners die hun afval scheiden maken nu goed gebruik van de vermaler.

Grijswater van de keuken, wasbak en wasmachine is nog redelijk geconcentreerd afvalwater. Het wordt met behulp van een verticaal doorstroomd belucht helofytenfilter gezuiverd. In eerste instantie waren alleen de de grondgebonden woningen aangesloten een jaar later is de flat in gebruik genomen en ook aangesloten op het helofytenfilter. In beide perioden zijn er monsters genomen en geanalyseerd op macroparameters. In de tweede periode zijn er ook zware metalen en medicijnresten gemeten. In de eerste periode functioneerde het filter naar verwachting. In de tweede periode was het rendement laag. De installatie heeft gekampt met een aantal storingen. In de meeste gevallen haperde de aansturing van de pomp of de beluchting en trad er verstopping op in de leidingen. Eind 2024 zijn er de nodige aanpassingen gedaan en sindsdien werkt het helofytenfilter in technische zin goed en nu wordt het helofytenfilter weer gemonitord. Om vast te stellen of het effluent van het helofytenfilter in potentie gebruikt kan worden als bijvoorbeeld waswater of irrigatiewater zullen er nog proeven uitgevoerd gaan worden.

Zowel het zwart- als grijswatersysteem bleken storingsgevoelig te zijn en er is meer bediening en onderhoud noodzakelijk dan was ingeschat. Tevens is er geconstateerd dat er bij de Waterschappen en ook bij de techniekleveranciers die in deze markt actief willen worden nog de nodige kennis opgedaan moet worden om dergelijke systemen goed te ontwerpen en te bedrijven. De praktijkervaring met dergelijk systemen is relatief jong en de specifieke kennis is bij slechts enkele bedrijven bekend.

Om die reden wordt er intensief informatie uitgewisseld met soortgelijke projecten in Gent, Amsterdam, Hamburg en Helsingborg. Ook daar ervaart men soortgelijke uitdagingen. De kennisdeling is nodig niet alleen voor de betreffende projecten, maar ook voor de komende geplande projecten in Duitsland, Zweden en Nederland.

De periode t/m 2026 zal worden benut om de monitoring over alle projectonderdelen door de 4 projectpartners af te ronden. Dan kunnen we meer zeggen over : wat zijn de perspectieven (technisch, financieel, duurzaamheid, acceptatie etc.) van onderdelen van het gesloten waterconcept.

Drinkwaterzuivering

Motivatatie voor project

WML was geïnteresseerd in een verbreding van het aanbod aan bronnen en mogelijkheden voor decentrale zuivering, ook met het oog op plekken waar een reguliere drinkwaterlevering niet mogelijk is, en water uit Duitsland wordt geïmporteerd (Hofman-Caris et al. 2019). Verder speelde persoonlijk enthousiasme bij de betrokkenen een grote rol, om te onderzoeken of decentrale waterzuivering als een oplossing voor waterschaarste kan worden beschouwd. Door middel van deze pilot hoopte WML te kunnen onderzoeken wat de gevolgen van een dergelijk systeem zijn voor een drinkwaterbedrijf, en wat de rol van het drinkwaterbedrijf hierin zou kunnen/moeten worden. Dit project was gekoppeld aan het drinkwaterproject van De Watergroep (B-WaterSmart 2024).

Opvang en behandelingssystemen

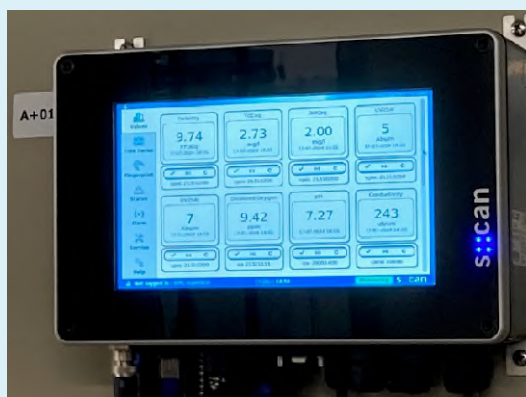
Regenwater van het dak van de flat en van het verharde oppervlak (dit is inclusief de wegen/paden en daken van de huizen: 1.100 m² dakoppervlak, 10.000 m² verhard oppervlak) wordt naar een aparte zuivering geleid die door WML wordt beheerd. Eerst komt het water in twee verschillende putten terecht, zodat het apart bemonsterd kan worden. Daarna wordt het in twee hemelwaterkelders gemengd en naar de zuivering geleid (Figuur 16 t/m Figuur 20). Het idee was om te proberen hier drinkwater van te maken. Op dit moment wordt de installatie bedreven met drinkwater om opstartproblemen op te lossen en ervaring op te doen met de installatie. Daarnaast wordt de waterkwaliteit van het opgevangen water bepaald. Er is echter nog geen gesprek geweest met ILT, en daarom is nog niet duidelijk of reguliere levering op termijn toegestaan is. Belangrijk punt daarbij is het benodigde monsterprogramma en opstellen van een Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD). De kosten daarvoor zijn waarschijnlijk hoog, waardoor het water relatief duur wordt. In principe is alles zo gemaakt dat dit water op het bestaande leidingnet van de wijk aangesloten kan worden. Er is geen mogelijkheid voor het leveren

van een tweede waterkwaliteit. In eerdere plannen waren daar wel ideeën voor zoals een autowasplaats (naast het drinkwater), bodempassage en hergebruik van water uit het helofytenfilter om de kringloop echt te sluiten. Deze ideeën zijn nog niet verder uitgewerkt.

De waterkwaliteit wordt aan de hand van sensoren, die 9 parameters meten, bepaald:

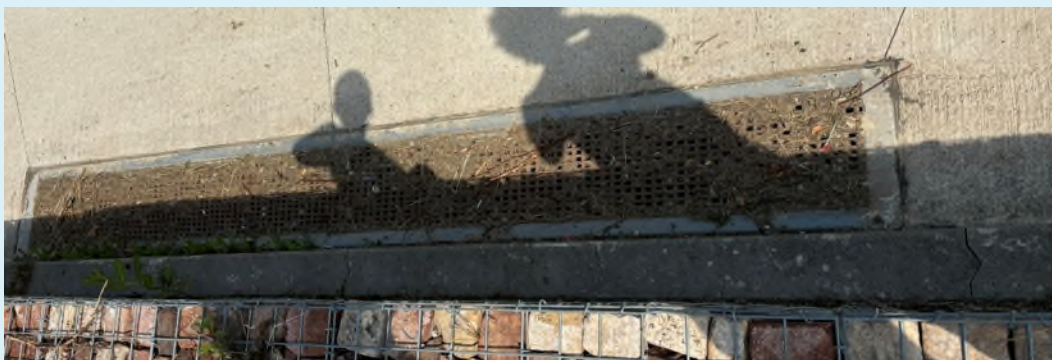
1. Troebelheid
2. TOC (totaal organisch koolstof)
3. CZV (chemisch zuurstofverbruik)
4. UV-T
5. pH
6. redoxcondities
7. temperatuur
8. zuurstof
9. geleidbaarheid

Het is de bedoeling om de meetresultaten van de bemonstering te proberen te koppelen aan de sensormetingen, om op die manier te kunnen afleiden of aan de sensormetingen relevante wijzigingen in waterkwaliteit kunnen worden afgelezen. De hoop is dat dit voldoende is om te kunnen zien of de inkomende regenwaterkwaliteit goed genoeg is om er drinkwater van te kunnen maken. Indien dit niet het geval is, wordt het regenwater omgeleid om te worden geïnfiltreerd in de ondergrond. Dit vormt nog een probleem omdat het water op een lager niveau binnenkomt dan het maaiveld van het infiltratiegebied. Het was de bedoeling geweest om de ingaande regenwaterkwaliteit dit afgelopen half jaar te bemonsteren, maar dat is tot nu toe slechts één keer gelukt (o.a. vanwege vastgeroeste afsluiters). Na opslag moet de kwaliteit nogmaals bepaald worden.



Figuur 16: monitor met te bepalen parameters

Het water van de verharding wordt eerst via een rooster opgevangen, wat een deel van de bladeren tegenhoudt. Nadeel is dat het rooster verstopt kan raken. Vervolgens gaat het water door een zandvang, waar zware deeltjes bezinken, terwijl lichter materiaal doorgaat naar de buffer.



Figuur 173: rooster voor verwijdering grove delen als bladeren

Er is inmiddels gebleken dat er zich ondanks de zandvang een laagje slib vormt onderin de buffer. Opslag van regenwater is bedoeld voor maximaal 25 dagen. Er wordt nog onderzoek gedaan naar de microbiologie in de buffer en de werking van de zuivering.

De zuivering vindt vervolgens plaats in vijf stappen (zie ook Figuur 8):

1. Twee kaarsenfilters van grover materiaal met zeefdiameter 130 μm . Capaciteit is 2,5 m^3/h .
2. Vervolgens wordt het water opgevangen in een opslagtank om het verschil in capaciteit tussen pompen/kaarsenfilters en UF op te vangen.
3. Hierna gaat het water naar de UF-filters met een capaciteit van 3,5 m^3/h . Het is WML niet bekend welke filters er precies geplaatst zijn.
4. Van hieruit gaat het water weer in een buffervat, en vandaar naar het UVOX Redox systeem (UV/ O_3) (Water Alliance 2021, UVOX Redox 2023). De ozon wordt ter plekke uit lucht gemaakt. De UV-intensiteit zou 40 W/m^2 zijn. De daadwerkelijke UV-dosis is afhankelijk van de verblijftijd van het water in de reactor. De UV-lamp levert straling met een golflengte van 254 en 185 nm (dus zowel UV-C als vacuüm-UV-straling). De golflengte van 185 nm wordt gebruikt om ozon te genereren. Door interactie van de UV-straling van 254 nm met ozon worden hydroxylradicalen gevormd, die organische microverontreinigingen kunnen afbreken. Op de website van de leverancier (UVOX Redox 2023) wordt aangegeven dat het systeem een minimumdosis van 25,00 mJ/cm^2 levert voor behandeling van drinkwater. Dit wijst op een toepassing voor desinfectiedoeleinden. Dat het UV/ O_3 -proces met een dergelijke UV-lamp effectief kan zijn voor desinfectie wordt bevestigd door Zhang et al. (2023) en Krakkó et al. (2021), hoewel die laatsten wel expliciet aangeven dat voor de afbraak van OMV een dosis nodig was van 1200 mJ/cm^2 voor 185 nm en 6600 mJ/cm^2 voor 254 nm (wat dus ruim voldoende was voor desinfectie). Onderzocht zou moeten worden of het systeem in Superlocal in staat is OMV's af te breken. Het ontwerp van de UVOX-installatie blijkt tijdens de bouw door de Technische Alliantie aangepast, maar hierover ontbreekt documentatie volgens WML.
5. Vervolgens wordt het water gefiltreerd over een kolom met GAK.
6. Tot slot vindt nog een marmerfiltratie plaats om de hardheid in overeenstemming te brengen met het Drinkwaterbesluit ($\geq 1 \text{ mmol/L}$).

Na zuivering kan het water worden opgeslagen in een reinwatertank, met een volume van 55 m^3 , die is aangesloten op de drinkwateraanvoerleiding van het flatgebouw. Tot nu toe wordt het water nog niet als drinkwater toegepast.



Figuur 18: onderdelen zuiveringsproces regenwater in Superlocal. Links boven kaarsenfilters, rechts boven opslagtank, midden links UF-module, midden rechts UVOX-reactor, links beneden actieve koolfilter.

In het oorspronkelijke plan was het de bedoeling de kwaliteit van de bron inzichtelijk te maken, door hier gedurende een half jaar analyses van te nemen. Het is met de huidige installatie mogelijk om een aparte bemonstering te doen van hemelwater dat via daken en via het verharde oppervlak wordt opgevangen. Hierbij zou extra aandacht worden besteed aan de first flush, zowel van het dak als van het verharde oppervlak. Dat laatste bleek ingewikkelder dan het in eerste instantie leek. Bij bijvoorbeeld woningen wordt wel vaker de first flush (het eerste opgevangen regenwater, dat sterker vervuild is) afgevoerd en niet gebruikt. Maar als water van een groot terrein wordt opgevangen, wordt die first flush van verderop van het terrein later en enigszins verdund aangevoerd. Analyses laten wel zien dat het gehalte aan polyaromatische koolwaterstoffen (PAKs) hierdoor toeneemt in de tijd. Het was de bedoeling om de afvoer van de first flush via een debietgeregistreerde monsterkast te regelen, maar er is nog geen goed model om dit uit te voeren. Er wordt nu de eerste 1 mm regenval afgevoerd, maar mogelijk moet dit worden verhoogd naar 2 of 2,5 mm.



Figuur 4: monsterkast voor regenwateropvang

Het is de bedoeling om de effecten van buffering in kaart te brengen, door monsters te nemen van ingaand water, water na de opvangbuffer en na behandeling. Voor de afzonderlijke processtappen zijn geen analyses gepland.

Continuïteit van de bron

Regenwater valt zoals eerder genoemd niet continu. Daarom is voor een inschatting van de kwantiteit een statistische analyse uitgevoerd, waarbij het uitgangspunt niet was om volledig in de behoefte van de flat te voorzien. Dat lijkt ook niet mogelijk, gezien de hoeveelheden die kunnen worden opgevangen.

Waterkwaliteit

Uit analyses van het weer bleek dat er met het regenwater verontreinigingen kunnen worden aangevoerd afkomstig van de industrie in het Roergebied, Luik, landbouw en van Sitech, afhankelijk van de windrichting (zie ook het rapport 'Risico's van luchtgebruik in de drinkwatervoorziening' (Van Leerdam 2012)). Uiteraard zal ook de afstand een rol spelen en kunnen er mogelijk ook verontreinigingen van verderop invloed hebben op de regenwaterkwaliteit.

De effecten van het dakmateriaal worden in het onderzoek niet echt meegenomen, hoewel uit eerste analyses bleek dat er veel zink verwerkt zit in het dak c.q. de dakgoten en/of regenpijpen. Het van het dak opgevangen regenwater bleek 130 mg zink/L te bevatten. Ook werden hier relatief hoge gehalten aan PFAS aangetoond. Verder werd er een hoog gehalte *Clostridium* aangetroffen, en een koloniegetal > 10.000 kve/ml. In het via het verharde oppervlak opgevangen water werden onder andere olie en PAKs aangetroffen.

Er zijn nog onvoldoende analysedata beschikbaar om conclusies te trekken over de waterkwaliteit in de praktijk, mede doordat het analysepakket nog moet worden vastgesteld. De monitoring van de zuivering in de tijd (de frequentie en de te meten parameters) moet nog met de ILT besproken worden. Het is de vraag of dezelfde chemische en microbiologische analyses vereist zijn die WML normaal voor drinkwater gemaakt uit oppervlaktewater doet. Financieel is het niet realistisch om het water te testen op alle parameters waarop bijvoorbeeld oppervlaktewater wordt geanalyseerd. Met behulp van een polymerase chain reaction (PCR)-test, een microbiologische techniek, zou de microbiële veiligheid van de zuivering aangetoond moeten kunnen worden, maar dat is nog niet eerder gedaan, en zou tot een overschatting van risico's kunnen leiden, aldus WML.

Risico's

De voorziene risico's zijn een tekort aan water, een tekort aan wateropslagcapaciteit (voor als er te veel regenwater valt), variaties in waterkwaliteit en sociale aspecten. Die laatste hangen sterk samen met voorlichting, en de inrichting van het gebied. Zo is het belangrijk dat mensen zakjes meenemen voor uitwerpselen als ze de hond uitlaten, maar dan moeten daar wel afvalbakken voor geplaatst worden. Er zijn informatieborden geplaatst (zie Figuur 20) maar in de praktijk blijkt het wenselijk de voorlichting aan de bewoners nog verder te verbeteren. Ze blijken soms toch niet goed het verband te zien tussen de uitwerpselen van hun hond en de gevolgen die die hebben voor de kwaliteit van het opgevangen water.

De zuivering is niet redundant uitgevoerd, omdat de reguliere drinkwaterlevering blijft bestaan, en als back-up kan dienen voor het systeem in Superlocal.

Onderhoud

Het onderhoud van de installatie is de verantwoordelijkheid van WML, de buffers zijn van de gemeente. Die worden ook gebruikt om het rioolstelsel te ontzien, of om water te infiltreren. Het distributie-aspect is op dit moment nog niet aan de orde. Documentatie voor het onderhoud moet nog worden ontwikkeld.





Figuur 20: informatieborden over het watersysteem bij Superlocal.

I.VII Casus Oosterwold

In Oosterwold is de opening van een afvalwaterzuivering op wijksschaal bijgewoond. Oorspronkelijk was het de bedoeling dat de bewoners zelf verantwoordelijk zouden zijn voor hun eigen afvalwaterzuivering (van der Burght 2023). De verwachting was dat dit ertoe zou leiden dat er innovaties zouden worden ontwikkeld, die op grote schaal lastiger te realiseren zijn. Het uitgangspunt was dat de mensen hun huishoudelijk afvalwater zelf zouden behandelen en hergebruiken in de waterkringlopen binnen Oosterwold, bijvoorbeeld voor de stadslandbouw. Dit mocht echter niet ten koste gaan van de volksgezondheid en het milieu. In 2022 waren er ongeveer 800 afvalwaterzuiveringssystemen die het afvalwater van circa 1250 woningen behandelden. In de meeste gevallen werd hiervoor een helofytenfilter aangelegd. In de praktijk bleek echter de kwaliteit van het behandelde water onvoldoende te zijn, en werden er ook niet veel innovaties uitgewerkt. Uiteindelijk is dan ook besloten toch een afvalwaterzuivering op wijksschaal te bouwen (Omroep Flevoland 2022), die het gezuiverde afvalwater loost op de centrale RWZI in de omgeving. De zuivering was in eerste instantie gebouwd voor 400 woningen, waarna er in een later stadium nog 400 bij zouden komen. De zuivering is gericht op het zoveel mogelijk verwijderen van microverontreinigingen zoals medicijnresten en vlamvertragers (chemische stoffen) en terugwinnen van grondstoffen. Bij dit laatste gaat het om cellulose uit wc-papier, en in de toekomst mogelijk fosfaat en stikstof.

II Relevante KWR publicaties

KOA 01.028 E.E.T. Project Duurzame waterhuishouding
KWR 03.042 Quick scan collectieve regenwatersystemen
KWR 04.005_Inventarisatie_regenwatersystemen_buiten_Nederland
KWR 05.036 Vacuümafzuigsysteem grijswater
SWO 87.292 Analytisch chemische aspecten
KOA 99.058 Blootstelling en milieubelasting koper door inzet huishoudwater
SWI 98.115 Huishoudwaterprojecten - verantwoord - rendabel - doordacht
SWI 98.192 Bereiding van microbiologisch veilig huishoudwater
SWI 94.164 Organische microverontreinigingen in atmosferische depositie - een literatuurstudie
KOA 98.168 Evaluatie technische oplossingen voor benutting van regenwater in nieuwbouwwijk Poelgeest
SWI 99.108 Huishoudwater en de klant - Landelijke ontwikkelingen & resultaten BTO 1997-1998
Duurzame waterhuishouding - Ontwikkeling van een integraal systeem voor duurzaam watergebruik in huishoudens, 2000
Onderzoeksrapport Experimenteel onderzoek naar de werking en duurzaamheid van 2 toiletreservoirs met grijswater, 2003
Haalbaarheidsstudie naar maatregelen voor een duurzaam integraal waterbeheer in de nieuwe woonwijk De Lepelaar, 1997
SWI 99.210 Kritische succesfactoren en beoordeling van haalbaarheid van regenwaterprojecten - Concept
Toiletgebruik in relatie tot blootstelling aan micro-organismen in aerosolen, 2003
Duurzame Waterhuishouding - Sustainable Water-housekeeping, 2004
KIEM
BTO 2008.018 (s) Kansen voor decentrale drinkwatervoorziening in Nederland
SWE 91.010 De samenstelling van regenwater langs hollands kust
Kuller/Dolman/Spiller/Vreeburg
BTO 2015.015 BTO Trends - Praktijk en Toekomst van Decentrale Drinkwaterproductie
van den Brand LCA analyse decentraal versus centraal drinkwaterproductie - Mini-symposium Waternet, 15 oktober 2015
BTO 2015.211(s) Wat biedt de circulaire economie drinkwaterbedrijven
KWR 2016.081 TKI Loop-closure Cleantech Playground. Local water and energy solutions
Blokker, Vreeburg Beyond smart cities, de drinkwatervraag in de toekomst - TVVL Magazine 46(2017)1, p.8-11

Schenk - Interview A. van Wijk, E. van der Roest - Wijk in Nieuwegein draait straks op zonne-energie en regenwater - NRC.nl (2017)13 november
Bertelkamp, Hofman-Caris, Roelandse, van der Aa, van der Hoek - Regenwater als bron voor drinkwater in Nederland, een haalbare kaart - H2O-Online (2017)29 december
KWR in het nieuws C.H.M. Hofman-Caris - KWR, zelf drinkwater bereiden in Nederland nog niet realistisch - H2O-Online (2018)10 januari
Oerlemans - Interview Hofman-Caris, C.H.M. - Drinkwater komt voorlopig niet van het dak - H2O 51(2018)3, p.24-27
BTO 2018.013 Decentrale watersystemen, potentie, impact en gevolgen voor drinkwaterbedrijven
BTO 2017.029 Decentraal zuiveren, mogelijkheden voor gebruik van opgevangen regenwater
BTO 2017.029 Managementsamenvatting Drinkwater uit regenwater op buurt- of wijkniveau biedt mogelijkheden, op niveau van huishoudens blijft kwantiteit te laag
BTO 2018.028 Regenwater als bron voor drinkwater, productiekosten en milieuaspecten
BTO 2018.028 Managementsamenvatting Kleinschalige waterzuivering, kleine milieuwinst, maar praktische obstakels
Interview C. Bertelkamp - Regenwater als bron voor drinkwater, een goed idee - Drinkwaterplatform (2018)8 maart
BTO 2018.099 Stand-alone decentrale zuivering voor afgelegen gebieden
KWR 2019.036 Beschikbare bronnen en waterbesparing voor de drinkwatervoorziening voor de provincie Flevoland (pdf van de download van de wiki (mei 2019))
Hofman-Caris, Cirkel, de Waal, Huiting, de Bruin Kleinschalige drinkwaterproductie, wanneer is dat haalbaar - H2O-Online (2019)4 juli
BTO 2019.019 VO Radicaal nieuwe bronnen voor drinkwater
KWR 2020.062 De waterbalans van Brainport Smart District waterbesparingsscenario's
Hofman-Caris Decentrale drinkwatervoorziening in IJburg en Limburg - KNW Webinar Nieuwe concepten voor huishoudelijk waterverbruik, 21-10-2021
Hofman-Caris Gebruik van regenwater als alternatieve bron voor huishoud- en drinkwater (Memo) (2022)
Koop Drinkwaterbesparing van huishoudens - Water Alliance 4-10-2022
Hofman-Caris, Vreeburg, et al Alternatieve bronnen en toepassingen van water - H2O-Online (2023)13 april
Jong TKI Circular Rain, Nuttige inzet van regenwater na unieke buffering en zuivering - Nationale Klimaat Expo Houten, 19 april 2023
BTO 2023.045 Managementsamenvatting De klant als nabehandelaar
BTO 2023.045 De klant als nabehandelaar
BTO 2023.028 Drinkwaterbesparing. Inventarisatie van ervaringen en leerpunten in pilots
BTO 2023.037 100 liter per persoon per dag. Welke waterbesparingsmaatregelen zijn nodig
Brouwer, et al. Van passieve kraanwaterontvanger naar actieve nabehandelaar en regenwatergebruiker - H2O-Online (2024)8 april
BSD Water Lab - Brainport Smart District (2020)
KWR 2024.047 TKI Circular Rain. Innovatieve buffering en zuivering van regenwater (OPENBAAR)
Hofman-Caris Effecten van inzet van alternatieve bronnen (als drinkwaterbesparing) - Waternet 21-06-2024

III Relevante teksten uit de Drinkwaterwet (zie hoofdstuk 3.1)

Relevante teksten uit De Drinkwaterwet

Drinkwaterwet

Geraadpleegd op 28-02-2025.

Geldend van 01-01-2024 t/m heden

Hoofdstuk I. Algemeen

Artikel 1

- 1 In deze wet en de daarop berustende bepalingen wordt verstaan onder:
 - o *bereiding*: iedere behandeling van grondwater, oppervlaktewater, zeewater of een andere grondstof met het oog op de productie van drinkwater, tot aan het punt waar het drinkwater voor consumptie beschikbaar komt;
 - o *collectief leidingnet*: samenstel van leidingen, fittingen en toestellen dat tijdelijk, doch niet ten behoeve van bevoorrading, dan wel permanent, is aangesloten op het distributienet van een drinkwaterbedrijf of collectieve watervoorziening, en door middel waarvan drinkwater of warm tapwater ter beschikking wordt gesteld aan consumenten of andere afnemers;
 - o *collectieve watervoorziening*:
 - a. landgebonden voorziening, niet zijnde een drinkwaterbedrijf, voor de productie of distributie van water dat met behulp van een leiding of distributienet aan consumenten of andere afnemers als drinkwater of warm tapwater ter beschikking wordt gesteld;
 - b. voorziening voor de productie of distributie van water op een binnen het Nederlandse territorium gelegen mijnbouwinstallatie als bedoeld in artikel 1, onderdeel o, van de Mijnbouwwet, welk water als drinkwater of warm tapwater aan consumenten binnen die mijnbouwinstallatie ter beschikking wordt gesteld;
 - o *distributie*: transport en levering;
 - o *distributiegebied*: gebied waarbinnen de eigenaar van een drinkwaterbedrijf bevoegd en verplicht is tot levering van drinkwater aan consumenten of andere afnemers;
 - o *distributienet*: samenstel van leidingen en daarmee verbonden koppelingen, kleppen en andere technische voorzieningen voor het transport en de levering van drinkwater, niet zijnde een collectief leidingnet;
 - o *drinkwater*: water bestemd of mede bestemd om te drinken, te koken of voedsel te bereiden dan wel voor andere huishoudelijke doeleinden, met uitzondering van warm tapwater, dat door middel van leidingen ter beschikking wordt gesteld aan consumenten of andere afnemers;

- o *drinkwaterbedrijf*:
 - a. bedrijf uitsluitend of mede bestemd tot openbare drinkwatervoorziening door levering van drinkwater aan consumenten of andere afnemers, of
 - b. bedrijf uitsluitend of mede bestemd tot levering van drinkwater aan een bedrijf of bedrijven als bedoeld onder a;
- o *Drinkwaterrichtlijn*: Externe link: Richtlijn (EU) 2020/2184 van het Europees Parlement en de Raad van 16 december 2020, betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water (herschikking);
- o *eigenaar*: juridische eigenaar;
- o *gewogen gemiddelde vermogenskostenvoet*: gewogen gemiddelde van de kostenvoet van vreemd vermogen en eigen vermogen, waarbij het aandeel van deze vermogenstypen in het totale vermogen als wegingsfactor wordt gehanteerd;
- o *gekwalficeerde rechtspersoon*:
 - a. publiekrechtelijke rechtspersoon, zijnde de Staat, een provincie, gemeente, waterschap of gemeenschappelijke regeling in de zin van de Wet gemeenschappelijke regelingen;
 - b. naamloze of besloten vennootschap die voldoet aan de volgende voorwaarden:
 - 1°. in de statuten is bepaald dat de aandelen in zijn kapitaal uitsluitend middellijk of onmiddellijk worden gehouden door publiekrechtelijke rechtspersonen, en
 - 2°. de vennootschap heeft zich niet verbonden de zeggenschap over het drinkwaterbedrijf dat haar toebehoort of zal toebehoren, geheel of gedeeltelijk uit te oefenen of te doen uitoefenen tezamen met anderen dan een publiekrechtelijke rechtspersoon of een vennootschap als bedoeld in dit onderdeel;
 - c. coöperatie waarvan de leden voldoen aan de voorwaarden, bedoeld in onderdeel b;
 - d. stichting ten aanzien waarvan bij besluit van Onze Minister is vastgesteld dat in haar statuten en in de tussen de stichting en de publiekrechtelijke rechtspersoon of rechtspersonen, die haar hebben opgericht, van kracht zijnde overeenkomsten zodanige bepalingen zijn opgenomen dat gewaarborgd wordt dat de volledige zeggenschap over het betreffende drinkwaterbedrijf wordt uitgeoefend door een of meer publiekrechtelijke rechtspersonen;
- o *indicatorparameters*: indicatorparameters als bedoeld in artikel 5, eerste lid, juncto tweede lid, tweede volzin, en bijlage I, deel C, van de Drinkwaterrichtlijn;
- o *inspecteur*: inspecteur als bedoeld in artikel 48, eerste lid;
- o *installatie*: samenstel van leidingen, fittingen en toestellen dat middellijk of onmiddellijk is aangesloten op het distributienet van een drinkwaterbedrijf;
- o *kleine collectieve watervoorziening*: collectieve watervoorziening die per dag gemiddeld tussen 10 kubieke meter en 100 kubieke meter drinkwater levert of die tussen 50 en 500 personen per dag bedient;

- o *kleinverbruiker*: consument of andere afnemer met een aansluiting waarbij de volumestroom van de levering van water niet meer bedraagt dan vijf kubieke meter per uur;
 - o *microbiologische of chemische parameters*: microbiologische of chemische parameters als bedoeld in artikel 5, eerste lid juncto tweede lid, eerste volzin, en bijlage I, deel A, B en D, van de Drinkwaterrichtlijn;
 - o *nooddrinkwater*: water bestemd of mede bestemd om te drinken, te koken of voedsel te bereiden, dan wel voor andere huishoudelijke doeleinden, dat bij een verstoring anders dan door middel van een distributienet wordt geleverd aan consumenten of andere afnemers;
 - o *noodwater*: water, uitsluitend bestemd voor sanitaire doeleinden, dat bij een verstoring door middel van een distributienet wordt geleverd aan consumenten of andere afnemers;
 - o *Onze Minister*: Onze Minister van Infrastructuur en Milieu;
 - o *openbare drinkwatervoorziening*: productie en distributie van drinkwater door drinkwaterbedrijven;
 - o *opslag*: opslag van water in reservoirs of bekkens in verband met de productie of distributie van drinkwater;
 - o *prestatievergelijking*: periodieke, systematische vergelijking van de prestaties van drinkwaterbedrijven;
 - o *productie*: winning, bereiding en daarmee verband houdende opslag van drinkwater;
 - o *toezichthouder*: inspecteur of andere krachtens artikel 48 aangewezen toezichthouder;
 - o *verstoring*: uitval of aantasting van watervoorzieningswerken, waardoor de continuïteit van de levering van deugdelijk drinkwater wordt verbroken of in gevaar komt;
 - o *warm tapwater*: water bestemd of mede bestemd om te drinken, te koken of voedsel te bereiden dan wel voor andere huishoudelijke doeleinden, dat wordt verwarmd voordat het voor die toepassingen ter beschikking wordt gesteld;
 - o *watervoorzieningswerken*: werken ten behoeve van de productie en distributie van drinkwater en daarmee rechtstreeks verband houdende werken en beschermingsvoorzieningen ten dienste van drinkwaterbedrijven;
 - o *winning*: onttrekking van grondwater, oppervlaktewater of zeewater ten behoeve van de bereiding van drinkwater;
 - o *woninginstallatie*: van een woning deel uitmakend samenstel van leidingen, fittingen en toestellen, aangesloten op het leidingnet van een drinkwaterbedrijf of een collectieve watervoorziening dan wel op een collectief leidingnet;
 - o *zeer kleine collectieve watervoorziening*: collectieve watervoorziening die gemiddeld minder dan 10 kubieke meter per dag drinkwater levert of minder dan 50 personen per dag bedient.
- 2 Bij algemene maatregel van bestuur kan worden bepaald dat een of meer daarbij aan te geven artikelen van deze wet niet van toepassing zijn op water dat uitsluitend bestemd is voor bij die maatregel aangegeven doeleinden, waarbij de kwaliteit van het water niet van invloed is op de

gezondheid van de betrokken consumenten. Bij of krachtens die maatregel kunnen nadere eisen worden gesteld aan de productie, distributie en het gebruik van dit water.

- 3 Voor de uitvoering en naleving van deze wet en de daarop berustende bepalingen wordt met de eigenaar van een drinkwaterbedrijf, collectieve watervoorziening of collectief leidingnet, indien deze niet zelf dat bedrijf, die voorziening of dat leidingnet exploiteert, gelijkgesteld de exploitant daarvan, voor zover het betreft de uitvoering van maatregelen of de naleving van verplichtingen die, naar gebruikelijk is, behoren tot de bevoegdheid van een exploitant.
- 4 Onze Minister kan een of meer bedrijven aanwijzen die voor de toepassing van hoofdstuk II, met uitzondering van de artikelen 5, tweede lid, en 8, met een drinkwaterbedrijf worden gelijkgesteld.
- 5 De artikelen van deze wet en de daarop berustende bepalingen, voor zover betrekking hebbend op collectieve watervoorzieningen, zijn mede van toepassing op voorzieningen voor de winning, behandeling of distributie van water op een binnen het Nederlandse deel van het continentale plat gelegen mijnbouwinstallatie als bedoeld in artikel 1, onderdeel o, van de Mijnbouwwet, welk water als drinkwater aan consumenten binnen die mijnbouwinstallatie ter beschikking wordt gesteld.
- 6 In geval van levering van warm tapwater aan consumenten of andere afnemers zijn de artikelen van de hoofdstukken III, VI, VII en VIII en de daarop berustende bepalingen van overeenkomstige toepassing.
- 7 De voordracht voor een krachtens deze wet vast te stellen algemene maatregel van bestuur wordt niet eerder gedaan dan vier weken nadat het ontwerp aan beide Kamers der Staten-Generaal is overgelegd.

Artikel 8

- 1 De eigenaar van een drinkwaterbedrijf is verplicht, binnen het voor zijn bedrijf vastgestelde distributiegebied, aan degene, die daarom verzoekt, een aanbod te doen om die persoon te voorzien van een aansluiting op het door hem beheerde leidingnet.
- 2 De eigenaar van een drinkwaterbedrijf is voorts verplicht, binnen het voor zijn bedrijf vastgestelde distributiegebied, aan degene, die daarom verzoekt, een aanbod te doen om met gebruikmaking van het door hem beheerde leidingnet aan die persoon drinkwater te leveren.
- 3 De eigenaar van een drinkwaterbedrijf hanteert voorwaarden die redelijk, transparant en niet discriminerend zijn.
- 4 In het belang van de openbare drinkwatervoorziening kunnen bij of krachtens algemene maatregel van bestuur regels worden gesteld met betrekking tot de toepassing van het eerste tot en met derde lid.

Artikel 11

- 1 De eigenaar van een drinkwaterbedrijf hanteert tarieven die kostendekkend, transparant en niet discriminerend zijn.
- 2 De eigenaar van een drinkwaterbedrijf hanteert bij de bepaling van de vermogenskosten die in het tarief mogen worden doorberekend ten hoogste de geldende gewogen gemiddelde vermogenskostenvoet, vastgesteld krachtens artikel 10, derde lid.
- 3 De toerekening van de kosten van materiële vaste activa vindt plaats op basis van afschrijvingsmethoden en afschrijvingstermijnen die volgens algemeen aanvaarde bedrijfseconomische principes zijn bepaald.

- 4 Als grondslag voor het bepalen van de vermogenskosten, die in het tarief mogen worden doorberekend, geldt de activawaarde, waarbij de materiële vaste activa gewaardeerd worden tegen historische kostprijs.

Hoofdstuk III. De zorg voor de kwaliteit van drinkwater

§ 1. Drinkwaterbedrijven

Artikel 21

- 1 De eigenaar van een drinkwaterbedrijf draagt er zorg voor dat het drinkwater dat hij aan consumenten of andere afnemers ter beschikking stelt, geen organismen, parasieten of stoffen bevat, in aantallen per volume-eenheid of concentraties, die nadelige gevolgen voor de volksgezondheid kunnen hebben.
- 2 De eigenaar van een drinkwaterbedrijf draagt er tevens zorg voor dat het ontwerp en de staat van de van dat drinkwaterbedrijf deel uitmakende watervoorzieningswerken, toestellen en leidingnetten geen gevaar kunnen opleveren voor verontreiniging van de daarop aangesloten collectieve watervoorzieningen, collectieve leidingnetten, woninginstallaties en andere installaties en van het aan de betreffende eigenaars of consumenten ter beschikking gestelde drinkwater.
- 3 Bij of krachtens algemene maatregel van bestuur worden, onverminderd het eerste lid, in het belang van de volksgezondheid eisen gesteld met betrekking tot:
 - o a. de hoedanigheid van het drinkwater na de bereiding en op het punt waar het ter beschikking komt voor gebruik, alsmede het nemen en analyseren van monsters en het verrichten van onderzoek teneinde die hoedanigheid vast te stellen. De eisen met betrekking tot de hoedanigheid van het drinkwater hebben in elk geval betrekking op:
 - 1°. microbiologische en chemische parameters;
 - 2°. indicatorparameters waaronder signaleringsparameters voor het signaleren van mogelijke verontreiniging van het drinkwater;
 - o b. het toezicht, door of vanwege de eigenaar van een drinkwaterbedrijf te houden op de toestand en de werking van het bedrijf, alsmede op de hoedanigheid van het in dat bedrijf bereide drinkwater;
 - o c. de door de eigenaar van een drinkwaterbedrijf bij de winning, de bereiding, de opslag en de distributie van drinkwater te gebruiken materialen en chemicaliën en de wijze waarop deze daarbij worden toegepast, met dien verstande dat de eisen met betrekking tot bij de distributie te gebruiken materialen slechts betrekking hebben op materialen die geen deel uitmaken van een gebouw als bedoeld in artikel 1, eerste lid, van de Woningwet;
 - o d. het onderzoek dat de eigenaar van een drinkwaterbedrijf verricht naar oorzaak en mogelijke nadelige gevolgen voor de volksgezondheid en de door hem te nemen herstelmaatregelen in geval niet wordt voldaan aan de eisen met betrekking tot de hoedanigheid van het drinkwater, bedoeld in onderdeel a, waarbij:
 - 1°. in geval van het niet voldoen aan een microbiologische of chemische parameter steeds herstelmaatregelen zijn vereist, gericht op het voldoen aan de eisen;

- 2°. in geval van het niet voldoen aan een indicatorparameter, herstelmaatregelen zijn vereist, gericht op het voldoen aan de eisen, tenzij er naar het oordeel van de toezichthouder geen gevaar is voor de volksgezondheid;
- o e. de informatie die de eigenaar van een drinkwaterbedrijf verstrekt:
 - 1°. aan consumenten en andere afnemers: over de kwaliteit van het geleverde drinkwater;
 - 2°. aan consumenten en andere afnemers: indien de levering van drinkwater gevaar kan opleveren voor de volksgezondheid;
 - 3°. aan de eigenaars van percelen waaraan de eigenaar drinkwater levert, en aan de betreffende consumenten en andere afnemers: over door hen te nemen voorzorgs- of herstelmaatregelen, indien door een omstandigheid, te wijten aan een collectief leidingnet of een woninginstallatie, het drinkwater niet voldoet aan de eisen, bedoeld in de aanhef en onderdeel a, of indien de deugdelijkheid van het drinkwater anderszins wordt aangetast;
 - 4°. aan de toezichthouder: over de kwaliteit van het geleverde drinkwater en de maatregelen die zijn of worden genomen om deze kwaliteit te waarborgen;
- o f. de kwaliteit van het water waaruit warm tapwater wordt bereid.
- 4 Bij of krachtens algemene maatregel van bestuur kunnen voorts in het belang van de volksgezondheid eisen worden gesteld met betrekking tot:
 - o a. de inrichting van de bedrijfsonderdelen van drinkwaterbedrijven;
 - o b. het verrichten van werkzaamheden in drinkwaterbedrijven;
 - o c. de vakbekwaamheid van het personeel van drinkwaterbedrijven;
 - o d. de voorlichting in hygiënisch opzicht van het personeel van drinkwaterbedrijven.
- 5 Onze Minister of, in geval van kortdurende overschrijdingen zonder nadelige gevolgen, de toezichthouder, kan, indien het belang van de volksgezondheid zich daar niet tegen verzet, gedurende een daarbij vast te stellen periode ontheffing verlenen van eisen voor chemische parameters als bedoeld in het derde lid, aanhef en onderdeel a, onderdeel 1°. Hij kan aan een ontheffing voorschriften en beperkingen verbinden, deze wijzigen of intrekken en een ontheffing intrekken. Bij of krachtens de algemene maatregel van bestuur, bedoeld in het derde lid, worden hieromtrent nadere regels gesteld. Van een besluit inzake een ontheffing doet Onze Minister mededeling in de Staatscourant.

§ 4. Woninginstallaties en overige installaties

Artikel 31

De eigenaar van een woninginstallatie of andere installatie, niet zijnde een collectieve watervoorziening of collectief leidingnet, draagt er zorg voor dat de staat van die installatie en van de toestellen en leidingen die daarvan deel uitmaken en die middellijk of onmiddellijk zijn aangesloten op het leidingnet van een drinkwaterbedrijf of een collectieve watervoorziening, dan wel op een collectief leidingnet, geen gevaar kunnen opleveren voor verontreiniging van dat leidingnet of collectieve leidingnet en van het door middel van de bedoelde leidingen en toestellen aan consumenten en andere afnemers ter beschikking gestelde drinkwater.