



**Kennisnotitie**

## **Inventarisatie van de mogelijke gezondheidsrisico's en beheersmaatregelen bij het gebruik van hemelwater en/of grijs water in de gebouwde omgeving**

### **Inleiding**

In Nederland neemt het drinkwatergebruik sinds enige jaren weer toe, terwijl de beschikbaarheid van natuurlijke bronnen voor de productie van drinkwater afneemt. Mede door de hete en droge zomers van de afgelopen jaren is er steeds meer aandacht voor de toekomstige beschikbaarheid van drinkwater en het verminderen van het drinkwaterverbruik. Gebruik van water van een andere kwaliteit dan drinkwater zou hieraan kunnen bijdragen.

Huishoudwater is ander water dan drinkwater, waaraan in tegenstelling tot voor drinkwater geen specifieke kwaliteitseisen worden gesteld [1, 2]. Het is technisch mogelijk om huishoudwater voor andere toepassingen te gebruiken dan drinken, zoals toiletspoeling, kleding wassen en tuinbesproeiing. Zowel hemelwater als grijs water zouden in principe kunnen worden gebruikt als huishoudwater. Hemelwater is water afkomstig van neerslag en wordt bijvoorbeeld opgevangen als het afstroomt van daken, straten en andere oppervlakken. Dit water wordt opgevangen in speciaal daarvoor geplaatste reservoirs. Grijs water is gebruikt water afkomstig uit de wasmachine, wasbak (keuken), wastafel (badkamer), bad en douche. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen licht- en donkergrijs water. Lichtgrijs water is water afkomstig uit wastafel, bad of douche, en donkergrijs water is water afkomstig uit de keuken wasbak of wasmachine [3, 4]. Omdat het gebruik van huishoudwater niet zonder risico's is [5], zijn sinds 2003 beperkingen voor de bron van huishoudwater en voor de toepassing van huishoudwater vastgelegd in de Drinkwaterwet en het Drinkwaterbesluit [1, 2]. Hierin is voor collectieve installaties (installaties die leidingwater aan derden leveren of beschikbaar stellen, bijvoorbeeld in een wijk, kantoorgebouw, school of sportschool) opgenomen dat alleen grondwater of hemelwater dat op een dak is opgevangen gebruikt mogen worden als huishoudwater. Voor het gebruik van andere bronnen, zoals grijs water en oppervlaktewater, is toestemming van de toezichthouder nodig. Daarnaast is vastgelegd dat huishoudwater in collectieve installaties alleen gebruikt mag worden voor toiletspoeling [2]. Voor individuele systemen (woninginstallaties) zijn geen specifieke eisen voor de bron en de toepassing van huishoudwater opgesteld en daar kan het dus breder worden gebruikt.

Om drinkwater te besparen zijn er nieuwe initiatieven gestart waarin huishoudwater wordt gebruikt. Recent zijn 20 drinkwaterbesparende projecten in Nederland beschreven, waarbij in vijf van deze projecten hemelwater en/of grijs water gebruikt wordt voor toiletspoeling, en in één project drinkwater wordt geleverd dat is geproduceerd uit opgevangen hemelwater [6]. Om drinkwater te besparen, overweegt het ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening om in het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) een verplichting op te nemen om hemelwater en/of grijs water te gebruiken als huishoudwater in nieuwbouw [7]. In Vlaanderen geldt al een verplichting voor opvang en gebruik van hemelwater bij nieuwbouw om wateroverlast tegen te gaan en drinkwater te besparen [8].

RIVM

A. van Leeuwenhoeklaan 9  
3721 MA Bilthoven  
Postbus 1  
3720 BA Bilthoven  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

T 088 689 89 89

**Auteurs:**

Harold van den Berg  
Marieke de Cock  
Ciska Schets

**Centrum:**

Zoönosen &  
Omgevingsmicrobiologie

**Contact:**

Harold van den Berg

**Kenmerk:**

KN-2025-0050

**DOI:**

10.21945/RIVM-KN-2025-0050

**Datum:**

19 juni 2025

Het opvangen hemelwater wordt gebruikt voor toepassingen waar geen drinkwaterkwaliteit voor vereist is, zoals toiletspoeling, wasmachine en gebruik buiten [8]. In mei 2023 heeft Witteveen en Bos in opdracht van het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties een rapport gepubliceerd met de titel: "Hemelwater- en grijswatergebruik in het gebouw. Mogelijke verplichting in het Bbl" [7]. Uit dit rapport bleek dat verder onderzoek nodig was naar de mogelijke risico's voor de volksgezondheid en eventuele beheersmaatregelen van de inzet van systemen voor het gebruik van hemelwater en/of grijs water in gebouwen. In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is deze kennisnotitie opgesteld waarin de mogelijke gezondheidsrisico's verder zijn onderzocht, zoals ook is opgenomen in het Nationaal Plan van Aanpak Drinkwaterbesparing [9].

In deze kennisnotitie worden de resultaten gepresenteerd van een inventarisatie van de gezondheidsrisico's en mogelijke beheersmaatregelen bij het toepassen van systemen voor gebruik van hemelwater en/of grijs water als huishoudwater in gebouwen. Er wordt alleen ingegaan op de microbiologische risico's van huishoudwater, omdat het risico van blootstelling aan chemische stoffen door huishoudwater laag is [10]. Voor deze inventarisatie werd onderzocht wat de microbiologische kwaliteit van hemelwater en licht- en donkergrijs water is, en welke zuiveringsstappen hierop worden toegepast. Ook werd nagegaan wat de microbiologische risico's voor de volksgezondheid zijn bij aanleg, onderhoud en beheer van hemel- en grijs watersystemen. In deze kennisnotitie wordt een overzicht gegeven van mogelijke beheersmaatregelen om de microbiologische risico's te beperken. Tenslotte worden aanbevelingen gedaan over het gebruik van hemelwater en/of grijs water als huishoudwater in gebouwen.

### **Literatuurstudie naar de microbiologische risico's van huishoudwater**

Het microbiologische risico van het gebruik van hemelwater en/of grijs water als huishoudwater wordt bepaald door de kwaliteit van het huishoudwater en de mate van blootstelling hieraan. De kwaliteit van het huishoudwater is afhankelijk van de kwaliteit van de bron, in dit geval hemelwater, licht- of donkergrijs water, en de daarop toegepaste zuivering. Daarnaast kunnen er ook microbiologische risico's optreden bij verkeerd ontwerp, aanleg, gebruik en onderhoud van het huishoudwatersysteem.

Door middel van een literatuurstudie werd onderzocht wat de microbiologische kwaliteit is van verschillende bronnen voor huishoudwater (hemelwater, licht- en donkergrijs water) en van het huishoudwater na zuivering. Op basis van een aantal overzichtsstudies over hemelwater en grijs water zijn artikelen gescreend waarin metingen van fecale indicatoren en/of ziekteverwekkers in hemelwater en/of grijs water staan beschreven. Ook zijn de gegevens van twee grijs watersystemen in Nederland meegenomen waarvoor een aanvraag was binnengekomen bij de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT, data niet openbaar). De aanwezigheid van fecale indicatoren duidt op een fecale verontreiniging, waarbij ook een kans bestaat dat ziekteverwekkers aanwezig zijn. In deze literatuurstudie is data verzameld uit 57 wetenschappelijke artikelen waarin een of meerdere watertypen werden beschreven. Dit betrof 28 artikelen over hemelwater, 31 artikelen over lichtgrijs water en 9 artikelen over donkergrijs water. Uit de artikelen is data geëxtraheerd over de gemiddelde gemeten concentraties van fecale indicatoren (bijvoorbeeld *Escherichia coli* en enterokokken) en/of ziekteverwekkers (bijvoorbeeld *Salmonella*, *Pseudomonas* en *Legionella*) in het ruwe water. Indien het water ook gezuiverd werd, zijn de zuiveringsmethode(n), de zuiveringsefficiëntie en de concentratie van fecale indicatoren en/of ziekteverwekkers na zuivering genoteerd. Beheersmaatregelen voor veilig gebruik van huishoudwater die werden toegepast zijn ook vastgelegd. Daarnaast is het land van herkomst van het water genoteerd om

onderscheid te kunnen maken tussen water uit Europese en niet-Europese landen. Aanvullend is literatuur gezocht over blootstelling aan huishoudwater afkomstig van hemelwater en/of grijs water.

### **Microbiologische kwaliteit van de bron voor huishoudwater**

#### *Hemelwater*

Hemelwater kan microbiologisch verontreinigd worden via afspoeling van verontreinigingen van daken, zoals ontlasting van vogels en andere dieren. In 25 van de 28 (89%) studies over hemelwater zijn fecale indicatoren onderzocht. *Escherichia coli* (*E. coli*), totale coliformen en enterokokken zijn het vaakst onderzocht. Elf van de 28 (39%) studies zijn uitgevoerd in Europa. In hemelwater liggen de gemiddelde concentraties van de indicatoren *E. coli*, enterokokken en totale coliformen rond de 100 tot 1.000 kolonievormende eenheden (kve)/100 ml, wat grofweg zo'n 100 tot 10.000 keer lager is dan in licht- en donkergrijs water (Figuur 1). Omdat er geen ruwe data beschikbaar was van de meeste artikelen, konden de verschillen in indicatorconcentraties tussen de typen water niet statistisch worden getoetst, waardoor het niet te zeggen is in hoeverre de geobserveerde verschillen in Figuur 1 significant zijn. Er is geen verschil tussen de gemiddelde concentratie van *E. coli* tussen Europese en niet-Europese landen, maar de concentratie van totale coliformen is wel grofweg 100 keer hoger in Europese ( $10^4$ ) ten opzichte van niet-Europese landen ( $10^2$ ). Ziekteverwekkers zijn in mindere mate beschreven in de artikelen. De aanwezigheid van ziekteverwekkers in hemelwater uit de literatuur is weergegeven in Tabel 1.

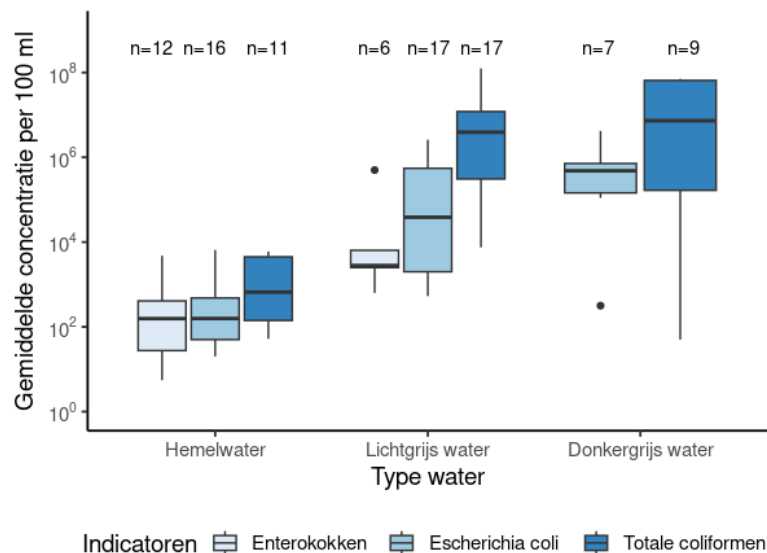
#### *Lichtgrijs water*

In de meeste studies over lichtgrijs water zijn fecale indicatoren onderzocht: *E. coli* (n=17/31), totale coliformen (n=17/31) en enterokokken (n=6/31). Negen van de 31 (29%) studies zijn uitgevoerd in Europa. De gemiddelde concentraties van de indicatoren *E. coli*, enterokokken en totale coliformen in lichtgrijs water liggen tussen de  $10^4$  en  $10^7$  kve/100 ml, wat grofweg zo'n 100 tot 10.000 keer hoger is dan in hemelwater, en 10 keer lager dan in donkergrijs water, met uitzondering van totale coliformen (Figuur 1). De gemiddelde concentratie van *E. coli* in lichtgrijs water is even hoog in niet-Europese en Europese landen. De resultaten van twee grijs watersystemen in Nederland (ILT, data niet openbaar) komen overeen met de gevonden concentraties uit de literatuur. In het lichtgrijs water van één van beide systemen werd de aanwezigheid van *Legionella* onderzocht, maar deze bacterie werd niet aangetroffen. De aanwezigheid van ziekteverwekkers in lichtgrijs water beschreven in de artikelen is weergegeven in Tabel 1.

#### *Donkergrijs water*

In bijna alle studies over donkergrijs water zijn fecale indicatoren onderzocht, namelijk totale coliformen (n=9/9) en *E. coli* (n=7/9). Slechts één van de 9 studies is uitgevoerd in Europa. In donkergrijs water ligt de gemiddelde concentratie van de indicator *E. coli* rond de  $10^6$  kve/100 ml, wat grofweg zo'n 10 keer hoger ligt dan in lichtgrijs water, en zo'n 10.000 keer hoger ligt dan in hemelwater (Figuur 1). De gemiddelde concentratie van de indicator totale coliformen in donkergrijs water ligt rond de  $10^7$  kve/100 ml, wat ongeveer gelijk is aan de concentratie van deze indicator in lichtgrijs water (Figuur 1). De aanwezigheid van ziekteverwekkers in donkergrijs water beschreven in de artikelen is weergegeven in Tabel 1.

*Figuur 1. Gemiddelde concentratie van enterokokken, Escherichia coli en totale coliformen in hemelwater, lichtgrijs water en donkergrijs water op basis van gemiddelde concentraties uit studies van binnen en buiten Europa. Alle gemiddelde concentraties zijn gebaseerd op kweekmethoden.*



## Systemen en zuiveringstechnieken

### Hemelwatersystemen

Een hemelwatersysteem heeft een (ondergrondse) opslag in de vorm van een tank, container, waterzak of een natuurlijk systeem (met schelpen of zand). Het opvangen hemelwater wordt in het algemeen niet of nauwelijks behandeld voordat het wordt gebruikt voor toiletspoeling. Wel is bij enkele installaties een grof filter voor het afvangen van grove delen geïnstalleerd [11, 12]. Gezondheidsrisico's, zoals maag- en darmklachten, diarree en in sommige gevallen ernstigere infecties, kunnen worden verkleind door de toepassing van additionele zuiveringen, zoals UV-behandeling en filtratie [13, 14].

### Grijs watersystemen

Net als een hemelwatersysteem, heeft een grijs watersysteem een (ondergrondse) opslag in de vorm van een tank of container. Voor het toepassen van grijs water voor huishoudwater wordt meestal een zuivering toegepast om de microbiologische kwaliteit te verbeteren. In de literatuur worden verschillende licht- en donkergrijs watersystemen en zuiveringstechnieken beschreven, zoals:

- coagulatie [15];
- membraanfiltratie [16];
- membraanbioreactor [17];
- roterende biologische reactor met/zonder UV-desinfectie [18];
- filtratie (biologisch filter) in combinatie met chloorbehandeling [19];
- zandfiltratie [20].

Tabel 1. Overzicht van onderzochte ziekteverwekkers en hun aanwezigheid (%) in hemelwater, licht- en donkergrijs water uit de literatuur.

|           | Ziekteverwekker            | Hemelwater                 |                                             |                                             | Lichtgrijs water           |                                             |                                             | Donkergrijs water          |                                             |                                             |
|-----------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
|           |                            | #pos/<br>#tot <sup>1</sup> | Laagste %<br>in pos<br>studies <sup>2</sup> | Hoogste %<br>in pos<br>studies <sup>3</sup> | #pos/<br>#tot <sup>1</sup> | Laagste<br>% in pos<br>studies <sup>2</sup> | Hoogste<br>% in pos<br>studies <sup>3</sup> | #pos/<br>#tot <sup>1</sup> | Laagste %<br>in pos<br>studies <sup>2</sup> | Hoogste %<br>in pos<br>studies <sup>3</sup> |
| Bacteriën | <i>Aeromonas</i> spp.      | 5/5                        | 2% (n=50)                                   | 100%<br>(n=54)                              |                            |                                             |                                             |                            |                                             |                                             |
|           | <i>Bacteroides</i> spp.    | 2/2                        | 58% (n=40)                                  | 89% (n=27)                                  |                            |                                             |                                             |                            |                                             |                                             |
|           | <i>Campylobacter</i> spp.  | 5/8                        | 0.4% (n=214)                                | 41% (n=27)                                  | 0/2                        |                                             |                                             |                            |                                             |                                             |
|           | <i>Clostridium</i> spp.    | 6/7 <sup>4</sup>           | 20% (n=15)                                  | 82% (n=28)                                  | 2/2 <sup>4</sup>           |                                             | 86% (n=7)                                   |                            |                                             |                                             |
|           | <i>Klebsiella</i> spp.     | 1/1                        |                                             | 12% (n=50)                                  |                            |                                             |                                             |                            |                                             |                                             |
|           | <i>Legionella</i> spp.     | 5/7                        | 2% (n=24)                                   | 100%<br>(n=24)                              | 1/3                        |                                             | 81%<br>(n=16)                               |                            |                                             |                                             |
|           | <i>Mycobacterium</i> spp.  | 3/3                        | 13% (n=8)                                   | 78%<br>(n=134)                              |                            |                                             |                                             |                            |                                             |                                             |
|           | <i>Pseudomonas</i> spp.    | 9/10 <sup>5</sup>          | 28% (n=134)                                 | 32% (n=50)                                  | 3/3 <sup>4</sup>           | 93%<br>(n=45)                               | 100%<br>(n=9)                               |                            |                                             |                                             |
|           | <i>Salmonella</i> spp.     | 4/6                        | 1% (n=115)                                  | 11% (n=27)                                  | 5/6 <sup>6</sup>           | 13% (n=8)                                   | 61%<br>(n=81)                               | 5/5 <sup>7</sup>           |                                             | 61% (n=81)                                  |
|           | <i>Shigella</i> spp.       |                            |                                             |                                             |                            |                                             |                                             | 1/2 <sup>4</sup>           |                                             |                                             |
|           | <i>Staphylococcus</i> spp. |                            |                                             |                                             | 2/2                        | 25% (n=8)                                   | 85%<br>(n=40)                               |                            |                                             |                                             |
|           | <i>Vibrio</i> spp.         | 1/2 <sup>4</sup>           |                                             |                                             | 1/1 <sup>4</sup>           |                                             |                                             | 1/2 <sup>4</sup>           |                                             |                                             |
| Virussen  | Adenovirus                 | 1/1                        |                                             | 43% (n=40)                                  |                            |                                             |                                             |                            |                                             |                                             |
|           | Enterovirus                | 0/1                        |                                             |                                             | 1/2                        |                                             | 3% (n=36)                                   | 1/1                        |                                             | 9% (n=75)                                   |
|           | Norovirus                  |                            |                                             |                                             | 1/1                        |                                             | 8% (n=36)                                   | 1/1                        |                                             | 13% (n=75)                                  |
|           | Rotavirus                  |                            |                                             |                                             | 0/1                        |                                             |                                             | 1/1                        |                                             | 1% (n=75)                                   |

|          | Ziekteverwekker             | Hemelwater                 |                                             |                                             | Lichtgrijs water           |                                             |                                             | Donkergrijs water          |                                             |                                             |
|----------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
|          |                             | #pos/<br>#tot <sup>1</sup> | Laagste %<br>in pos<br>studies <sup>2</sup> | Hoogste %<br>in pos<br>studies <sup>3</sup> | #pos/<br>#tot <sup>1</sup> | Laagste<br>% in pos<br>studies <sup>2</sup> | Hoogste<br>% in pos<br>studies <sup>3</sup> | #pos/<br>#tot <sup>1</sup> | Laagste %<br>in pos<br>studies <sup>2</sup> | Hoogste %<br>in pos<br>studies <sup>3</sup> |
| Protozoa | <i>Acanthamoeba</i> spp.    | 2/2                        | 10% (n=134)                                 | 17% (n=24)                                  |                            |                                             |                                             |                            |                                             |                                             |
|          | <i>Cryptosporidium</i> spp. | 2/3                        | 4% (n=50)                                   | 4% (n=26)                                   | 0/1                        |                                             |                                             |                            |                                             |                                             |
|          | <i>Giardia</i> spp.         | 4/5                        | 4% (n=26)                                   | 19% (n=27)                                  | 1/1                        |                                             | 63% (n=8)                                   |                            |                                             |                                             |
|          | <i>Naegleria</i> spp.       | 1/1                        | 11% (n=134)                                 | 19% (n=80)                                  |                            |                                             |                                             |                            |                                             |                                             |

<sup>1</sup> Het aantal positieve studies waarin de ziekteverwekker gedetecteerd was ten opzichte van het totaal aantal studies waarin de ziekteverwekker onderzocht was.

<sup>2</sup> Uit de positieve studies: de studie met het laagste percentage positieve monsters (%) en het aantal geteste samples uit die studie (n).

<sup>3</sup> Uit de positieve studies: de studie met het hoogste percentage positieve monsters (%) en het aantal geteste samples uit die studie (n).

<sup>4</sup> Voor één van deze studies was geen precieze prevalentie beschikbaar.

<sup>5</sup> Voor zes van deze studies was geen precieze prevalentie beschikbaar.

<sup>6</sup> Voor twee van deze studies was geen precieze prevalentie beschikbaar.

<sup>7</sup> Voor vier van deze studies was geen precieze prevalentie beschikbaar.

Door de toepassing van dergelijke technieken kan de concentratie van indicatoren en ziekteverwekkers tot wel 100.000 keer verlaagd worden. De mate van microbiologische verwijdering is mede afhankelijk van de toegepaste zuiveringstechniek en het type micro-organisme. Coagulatie had een microbiologische verwijdering van 1-2 log (10–100 keer verlaging van de concentratie) [15], de roterende biologische reactor (zonder UV-behandeling) ook 1-2 log [18] en de membraanbioreactor 3-5 log [17]. Door de toegepaste zuivering of een combinatie van zuiveringen kan de concentratie van indicatoren en/of ziekteverwekkers uiteindelijk (zeer) laag worden of zelfs leiden tot afwezigheid. Een recente studie heeft aangetoond dat het grijs water gebruikt voor toiletspoeling een microbiologische zuivering van 4 log (10.000 keer verlaging van de concentratie) moet ondergaan voor een aanvaardbaar gezondheidsrisico [23].

In de literatuur worden de toegepaste zuiveringstechnieken niet altijd volledig omschreven, waardoor het niet mogelijk is om systemen met elkaar te vergelijken. Zo ontbreekt bijvoorbeeld bij enkele studies de poriegrootte van het filter of de dosering voor desinfectie. De mate van verwijdering van de toegepaste zuiveringstechniek kan variëren tussen de microbiologische groepen bacteriën, virussen en protozoa. Dit wordt veroorzaakt door de verschillende eigenschappen van de micro-organismen, zoals grootte, beschermende lagen en fysisch-chemische oppervlakte-eigenschappen. Een voorbeeld hiervan is dat filtratie beter werkt voor bacteriën en protozoa dan voor virussen, omdat virussen kleiner zijn en daardoor minder goed worden tegengehouden of verwijderd door filtratie.

De twee binnengekomen aanvragen bij de ILT omschrijven verschillende gangbare systemen om grijs water te zuiveren voor gebruik als huishoudwater, namelijk de 'moving biobed reactor' en membraanbioreactor. In het geproduceerde huishoudwater werden bij één systeem geen fecale indicatoren meer aangetoond en bij het andere systeem slechts nog in zeer lage aantallen. *Legionella* spp. werd niet aangetoond in zowel het grijs water als in het gezuiverde huishoudwater.

### ***Blootstelling en gezondheidsrisico's***

Mensen kunnen op verschillende manieren in contact komen met huishoudwater en worden blootgesteld aan mogelijk aanwezige ziekteverwekkers.

#### ***Blootstelling aan huishoudwater via toiletspoeling***

Bij toiletspoeling en het schoonmaken van het toilet ontstaan aerosolen waarin mogelijk ziekteverwekkers zitten. De gebruiker kan door inademing of inslikken van deze aerosolen worden blootgesteld aan ziekteverwekkers [10]. Hoewel bij toiletspoeling aerosolen worden gevormd, is uit onderzoek gebleken dat het toepassen van huishoudwater voor toiletspoeling, ondanks de aerosolvorming niet of nauwelijks leidt tot een verhoogde concentratie van fecale indicatoren in de lucht [21, 22]. Een recentere studie heeft echter aangetoond dat grijs water voor toiletspoeling minimaal een microbiologische zuivering van 4 log moet ondergaan om blootstelling aan ziekteverwekkers dusdanig te verlagen om niet of nauwelijks gezondheidsrisico's te veroorzaken [23].

Vanwege de langere verblijftijden, mogelijke aanwezigheid van nutriënten en verhoogde temperatuur in een huishoudwatersysteem, bestaat de kans op nagroei van ziekteverwekkers zoals *Legionella*. Daarom verdienen deze ziekteverwekkers de nodige aandacht en extra maatregelen, bijvoorbeeld door een extra zuiveringsstap te introduceren om eventuele nagroei te verwijderen. Wanneer ongezuiverd grijs water wordt gebruikt voor het doorspoelen van toiletten kan er blootstelling optreden aan

*Legionella pneumophila* en dit kan resulteren in een verhoogd gezondheidsrisico [24]. De aanwezigheid van *Legionella pneumophila* in hemelwater zorgt ervoor dat het infectierisico toeneemt wanneer dit water niet wordt gezuiverd voor gebruik [25].

#### *Blootstelling aan huishoudwater via het drinkwaternet*

Verkeerde aansluitingen, de zogenoemde wanverbindingen, tussen het huishoudwatersysteem en drinkwaterleidingen zijn een reëel risico [5, 26, 27]. Hierdoor kunnen bewoners (verdund) huishoudwater binnenkrijgen dat niet geschikt is voor consumptie, wat leidt tot een hoger gezondheidsrisico. Dat dit een reëel risico is bleek in Leidsche Rijn waar mensen ziek werden door een foutieve aansluiting tussen een huishoudwaterleiding en een drinkwaterleiding [5]. Ook bij andere pilotprojecten in Nederland is gebleken dat er wanverbindingen waren [26].

In 2017 werd naar aanleiding van waterkwaliteitsproblemen in Vlaanderen vastgesteld dat 17% (71/427) van de woningen geen functionerende terugslagbeveiliging had om te voorkomen dat hemelwater in het publieke drinkwaternet terechtkomt, en dat 5% (22/427) van de woningen een wanverbinding had [27]. Het aantal meldingen bij de toezichthouder drinkwater in Vlaanderen met potentieel ernstige bedreigingen voor de volksgezondheid in relatie tot wanverbindingen varieert tussen de één en vier per jaar. Het is aannemelijk dat er meer gevallen van wanverbindingen zijn die niet worden gemeld bij de toezichthouder of niet leiden tot bekende gezondheidsklachten [27]. Doordat het drinkwater mogelijk gechloreerd is kan er nadesinfectie van het water in het distributiesysteem hebben plaatsgevonden. Hierdoor kan het aantal opgemerkte wanverbindingen kleiner zijn dan het werkelijke aantal. Aangezien grijs water tot wel 10.000 keer meer fecaal verontreinigd is ten opzichte van hemelwater, zal een wanverbinding met grijs watersystemen meer impact kunnen hebben.

### **Aandachtspunten**

#### ***Microbiologische kwaliteit van huishoudwater***

##### *Kwaliteitseisen aan huishoudwater*

Voor huishoudwater zijn geen specifieke microbiologische eisen opgenomen in de wetgeving [2], in tegenstelling tot andere typen water, zoals drinkwater, recreatiewater en stedelijk gezuiverd afvalwater voor irrigatie. Voor drinkwater is naast de microbiologische eisen waaraan het drinkwater moet voldoen, zoals de afwezigheid van fecale indicatoren in 100 ml drinkwater, een infectierisico vastgesteld. Dit is het zogenoemde  $10^{-4}$  infectierisico, wat betekent dat maximaal één op de 10.000 personen per jaar een infectie mag krijgen door het drinken van ongekookt kraanwater [2].

De kwaliteit van het huishoudwater is afhankelijk van de bron voor het huishoudwater en eventuele zuivering. De kwaliteit van de bron kan sterk variëren, en ook tussen dezelfde typen bronnen zitten grote verschillen. De gemiddelde concentratie fecale indicatoren is in hemelwater ongeveer 100 keer hoger dan in drinkwater is toegestaan. De gemiddelde concentratie fecale indicatoren in grijs water is 10.000 tot 1.000.000 keer hoger dan in drinkwater is toegestaan. Ook worden er verschillende ziekteverwekkers aangetoond in hemelwater en grijs water. Wanneer er geen kwaliteitseisen aan het huishoudwater worden gesteld of geen benodigde zuivering wordt geëist, is er een groot verschil in de kwaliteit van het huishoudwater afkomstig uit hemelwater en grijs water. Dit heeft ook invloed op de mogelijke gezondheidsrisico's en toepassingen van het huishoudwater. In 1999 zijn kwaliteitsrichtlijnen voor het gebruik van huishoudwater opgesteld om voor alle toepassingen te voldoen aan een  $10^{-4}$  infectierisico voor blootstelling aan huishoudwater [21]. In NEN-EN 16941 worden waterkwaliteitseisen gegeven voor grijs water, maar niet



voor hemelwater [4, 28]. In deze NEN normen zijn de gegeven kwaliteitseisen informatief, en dus niet verplicht.

#### *Benodigde zuiveringsefficiëntie voor huishoudwatersystemen*

Voor het toepassen van hemelwater en/of grijs water voor huishoudwater kan een zekere mate van zuivering (zuiveringsefficiëntie) noodzakelijk zijn om gezondheidsrisico's te beperken. De benodigde verwijdering van micro-organismen is afhankelijk van het water dat gebruikt wordt en de waterkwaliteitseisen van het huishoudwater. Om een vergelijkbare kwaliteit van zowel huishoudwater afkomstig van hemelwater als van grijs water te verkrijgen heeft grijs water minimaal een 4 log zuivering nodig. Een studie heeft aangetoond dat het gebruik van grijs water voor toiletspoeling, dat een microbiologische zuivering van 4 log heeft ondergaan, voldoet aan het  $10^{-4}$  infectierisico [23]. Er kunnen verschillende zuiveringsprocessen worden toegepast om aan het  $10^{-4}$  infectierisico te voldoen [29]. Door het vaststellen van een minimale zuiveringsefficiëntie waaraan hemelwatersystemen en grijs watersystemen moeten voldoen, kan veilig huishoudwater voor toiletspoeling worden gegarandeerd. In de Europese verordening die minimumeisen voor hergebruik van water stelt, worden kwaliteitseisen van teruggewonnen water voor landbouwirrigatie en prestatiestreefwaarden voor het systeem beschreven [30]. Een prestatiestreefwaarde is de mate van zuivering van het water (zuiveringsefficiëntie). Deze prestatiestreefwaarden zijn opgesteld voor de verschillende microbiologische groepen: bacteriën, virussen en protozoa. Een dergelijke aanpak schept duidelijkheid over de waterkwaliteitseisen voor het gebruik van hemelwater en/of grijs water als huishoudwater. Omdat de microbiologische kwaliteit van grijs water slechter is dan die van hemelwater, moeten striktere eisen worden gesteld aan de zuivering van grijs water. In NEN-EN 16941 worden diverse zuiveringstechnieken beschreven voor grijs watersystemen, maar hierin worden geen prestatiestreefwaarden voorgeschreven voor bacteriën, virussen en protozoa.

#### **Ontwerp, aanleg en beheer van het huishoudwatersysteem**

Tijdens het ontwerp van een huishoudwatersysteem is het nodig om te bepalen welk type zuivering nodig is. Dit is afhankelijk van een aantal factoren die van invloed zijn op de kwaliteit en kwantiteit van het huishoudwater afkomstig van zowel hemelwater als grijs water, zoals beschreven in NEN-EN 16941-1 en NEN-EN 16941-2 [4, 28]. Het uitvoeren van een risicoanalyse op een afzonderlijk huishoudwatersysteem, zoals omschreven in NEN-EN 16491, geeft inzicht in mogelijke (gezondheids)risico's met betrekking tot de waterkwaliteit, en in het ontwerp, de installatie, het beheer en het onderhoud van het systeem. Het ontwerp, de aanleg en het beheer van het huishoudwatersysteem beleggen bij een deskundige organisatie, bij voorkeur gecertificeerd, draagt bij aan uniformiteit en kwaliteit.

Na de installatie van het systeem is het van belang dat de zuivering goed blijft functioneren. Wanneer het huishoudwatersysteem niet goed onderhouden wordt, kan het systeem zijn werk minder goed gaan doen waardoor de kwaliteit van het huishoudwater kan verslechteren en het acceptabele infectierisico van  $10^{-4}$  niet gehaald wordt. Voorbeelden van gebreken aan de zuivering zijn het scheuren van membranen, vervuilde, defecte of verouderde UV-lampen die niet tijdig worden gereinigd of vervangen, of sedimentvorming in het systeem. Dit kan leiden tot een verminderde zuiveringsefficiëntie en daarmee een hoger gezondheidsrisico. Om de werking van het systeem te borgen moet periodiek onderhoud van het huishoudwatersysteem plaatsvinden en (continue) monitoring worden uitgevoerd. Onderhoud en beheer door een deskundige organisatie garandeert dat het op de juiste wijze wordt uitgevoerd. Daarnaast heeft het gedrag van bewoners ook invloed op de kwaliteit van het

huishoudwater. Wanneer er bepaalde stoffen of chemicaliën in het grijs water terechtkomen, kan dit invloed hebben op het huishoudwatersysteem en mogelijk de zuiveringsefficiëntie en dus op de kwaliteit van het huishoudwater. Door middel van voorlichting aan bewoners kan dit worden beperkt of mogelijk voorkomen. Enkele voorbeelden om een goede werking van het huishoudwatersysteem te controleren en garanderen zijn:

- Inspectie voordat systeem het in gebruik genomen wordt.
- Preventief onderhoud van het systeem, bijvoorbeeld UV-lampen preventief vervangen.
- Monitoring van de werking van de zuiveringstechnieken om de operationaliteit te bewaken, zoals metingen van UV-intensiteit of doorslag meten bij membraanfiltratie.
- Aanleg, werkzaamheden en onderhoud alleen laten uitvoeren door gecertificeerde monteurs.
- Onderhoudscontract inclusief monitoring van essentiële zuiveringsstappen.
- Regelmatige voorlichting aan (nieuwe) bewoners.

#### *Voorkomen van groei van ziekteverwekkers*

Er is kans op groei van ziekteverwekkers, zoals *Legionella*, in het systeem. Dit heeft een nadelig effect op de gezondheidsrisico's. Legionellabacteriën groeien voornamelijk in protozoa en bevinden zich vooral in biofilms; een slijmachtig laagje dat wordt gevormd door bacteriën op oppervlakken met daarin ook anorganische deeltjes zoals kalk. Om groei van bijvoorbeeld *Legionella* te beperken kan het helpen om te zorgen voor voldoende doorstroming, om zo de verblijftijd te verkleinen. *Legionella pneumophila* kan vermeerderen bij temperaturen boven 25°C en daarom dient de temperatuur van het water onder de 25°C te blijven om de groei te beperken. Enkele beheersmaatregelen om groei van ziekteverwekkers in huishoudwatersystemen te voorkomen zijn [31]:

- In het ontwerp maatregelen opnemen om opwarming van het (huishoud)water zoveel mogelijk te voorkomen.
- De verblijftijd in het huishoudwatersysteem te verkleinen tijdens het ontwerp.
- Spoelen van het systeem wanneer het enige tijd niet gebruikt is.
- Monitoren van de watertemperatuur en actie ondernemen wanneer de temperatuur boven een bepaalde waarde komt, bijvoorbeeld 20°C.
- Desinfectie, zoals UV-desinfectie, van het huishoudwater voor gebruik.

#### *Wanverbindingen*

Wanverbindingen tussen het huishoudwatersysteem en drinkwaterleidingen zijn een reëel risico. Enkele beheersmaatregelen om het risico op wanverbindingen tussen het huishoudwatersysteem en het drinkwatersysteem te voorkomen zijn:

- Aanleg van en werkzaamheden aan het huishoudwatersysteem alleen laten uitvoeren door gecertificeerde monteurs.
- Onafhankelijke inspectie van het huishoudwatersysteem bij ingebruikname en bij wijziging van bewoners.
- Regelmatig monitoren of inspecteren op mogelijke wanverbindingen door een onafhankelijke deskundige.
- Onderscheid maken in de leidingen voor het huishoudwatersysteem en het drinkwatersysteem, door bijvoorbeeld:
  - o ander formaat en kleur van de leidingen voor huishoudwater;
  - o labelen van de leidingen voor huishoudwater;
  - o verschillende aansluitingen voor het huishoudwatersysteem;
  - o hoofdkraan van het huishoudwatersysteem voorzien van een waarschuwing.

In Vlaanderen komen wanverbindingen tussen hemelwatersystemen en drinkwaterleidingen echter nog steeds voor ondanks beheersmaatregelen, zoals labels aan de leidingen en verplichte inspectie van de installatie door een gecertificeerde instantie voor kwaliteitsborging van hemelwatersystemen [27, 32].

#### *Water gerelateerde vectoren*

Er zijn risico's verbonden aan het opvangen van hemelwater die passende maatregelen vereisen. Een dergelijk risico is dat systemen broedplaatsen voor steekmuggen kunnen worden [33, 34]. Steekmuggen planten zich namelijk voort in water. Naast het veroorzaken van overlast zijn sommige steekmuggen vectoren en dat wil zeggen dat ze een ziekteverwekker kunnen oppikken, met zich meedragen en tijdens een beet overdragen aan een persoon. De inheemse huissteekmug *Culex pipiens* (vector van westnijlvirus) en met name de invasieve exoot de tijgermug (vector van dengue) vinden gunstige leefomstandigheden in deze hemelwateropvanglocaties. Aangezien wordt verwacht dat de tijgermug zich in de komende jaren permanent in Nederland zal vestigen is het van belang om hier bij alle nieuwe ontwerpen rekening mee te houden [35]. Een goed ontwerp kan voortplanting van steekmuggen voorkomen door ervoor te zorgen dat muggen niet in of nabij het waterreservoir kunnen komen om daar eitjes te leggen [33, 34]. Enkele beheersmaatregelen om overlast van steekmuggen tegen te gaan zijn:

- Voorkomen van toegang van steekmuggen tot het hemelwatersysteem door een goed ontwerp, zoals afsluiten van alle bovengrondse openingen met muggenwerend gaas.
- Voorkomen dat er water langer dan een week rondom het hemelwatersysteem blijft staan wanneer de opvang overstroomt, zoals bij hevige of langdurige regenval. In NEN-EN 16941-1 is de afvoer van overvloedig water opgenomen [28].

#### **Andere toepassing van huishoudwater dan toiletspoeling**

Bij collectieve installaties is het niet toegestaan om huishoudwater voor een andere toepassing dan toiletspoeling te gebruiken. Indien men huishoudwater voor een andere toepassing wil gebruiken, is toestemming van de toezichthouder verplicht. Voor individuele systemen is hierover niets opgenomen in de wetgeving. Een andere toepassing dan toiletspoeling, zoals opgenomen in NEN 1006, leidt tot een andere blootstellingsroute en een mogelijk verhoogde kans op blootstelling en daarmee hogere gezondheidsrisico's [8, 20]. Voorbeelden hiervan zijn het vullen van kinderbadjes, buitenkranen waaruit gedronken kan worden of hogedrukspuiten met verneveling. Onderzoek heeft aangetoond dat bewoners het huishoudwater, tegen uitdrukkelijke adviezen in, toch gebruiken voor doeleinden waar het niet geschikt voor is [26]. De kans op verkeerd gebruik is zeer klein wanneer het huishoudwater alleen voor toiletspoeling wordt toegepast, maar neemt toe wanneer andere toepassingen worden toegestaan [26]. Voor mogelijk andere toepassingen dient te worden nagegaan wat de benodigde kwaliteit van het huishoudwater moet zijn, inclusief benodigde zuiveringsstappen, en hoe dit op een veilige manier kan worden gebruikt, bijvoorbeeld door een risicoanalyse toe te passen. Hiervoor kunnen de kwaliteitsrichtlijnen worden gebruikt die zijn opgesteld voor de toepassing waarvoor de hoogste waterkwaliteitseisen nodig zijn om te voldoen aan het  $10^{-4}$  infectierisico [19].

#### **Collectieve en individuele installaties**

Bij individuele systemen is de aanname dat het toenemen van risico's door eigen handelen (of nalaten daarvan) vooral zijn weerslag heeft op het eigen gezin en bezoekers. Binnen een huishouden vindt uitwisseling van ziekteverwekkers plaats en kan er enige mate van bescherming tegen deze ziekteverwekkers ontstaan. Ook is bewaking

van individuele systemen vaak minder goed dan van collectieve systemen, waardoor het falen van individuele systemen meestal minder snel wordt opgemerkt [32]. Bij collectieve systemen wordt de kwaliteit van het grijs water beïnvloed door een groot aantal gebruikers en mogelijk meer verschillende ziekteverwekkers. De kans dat het huishoudwater bijdraagt aan de overdracht van ziekteverwekkers neemt toe naarmate de omvang van huishoudens toeneemt. Een collectief systeem zal meestal een collectieve beheerder hebben die voor het onderhoud zorgt. Dit is bij voorkeur een erkende en deskundige organisatie. Bewoners zijn dan met name verantwoordelijk voor wat ze in hun eigen woning doen. Onvoldoende beheer en onderhoud van de systemen hebben een grotere impact bij collectieve installaties dan bij individuele installaties, omdat meer huishoudens dit water ontvangen. Daarentegen kunnen bij zowel collectieve als individuele installaties wanverbandingen ontstaan waardoor huishoudwater in het publieke drinkwaternet terecht kan komen. Als er een groot aantal individuele systemen zijn, kan door meerdere kleinschalige incidenten het risico voor de volksgezondheid alsnog groot zijn [32]. Wanneer veel individuen overgaan op deze systemen ontstaat hiermee alsnog een verhoogd risico voor het publieke drinkwatersysteem. Vanwege de mogelijke aanwezigheid van ziekteverwekkers, zoals virussen, blijkt dat de zuivering die nodig is bij beide typen installaties nagenoeg hetzelfde moet zijn ondanks het verkleinen van het aantal gebruikers van de installatie van 1.000 naar 100 of vijf personen [29].

### ***Voorlichting aan huidige en toekomstige bewoners***

Regelmatige voorlichting aan bewoners is noodzakelijk om ze bewust te maken en te houden van het veilig gebruik van huishoudwater [26]. Wanneer er een nieuwe (of tijdelijke) bewoner in een woning met een huishoudwatersysteem komt, is het van belang dat deze bewoner ook op de hoogte is van het huishoudwatersysteem en de mogelijke risico's daarvan. Beheersmaatregelen om te zorgen dat nieuwe (of tijdelijke) bewoners op de hoogte zijn van de mogelijke risico's kunnen zijn:

- Voorlichting aan nieuwe bewoners.
- Periodieke controle en inspectie van het huishoudwatersysteem, waarbij onderhoud, beheer en wanverbandingen worden meegenomen.
- Een verplicht, doorlopend onderhoudscontract.

Om de kans op verspreiding en blootstelling aan aerosolen met ziekteverwekkers verder te verkleinen kan voorlichting worden gegeven aan bewoners om tijdens toiletspoeling het closet te sluiten. Daarnaast is het van belang om te benadrukken dat het gebruik van huishoudwater voor toepassingen anders dan toiletspoeling niet zijn toegestaan, en dat daar mogelijk hogere gezondheidsrisico's aan verbonden zijn. Dit geldt bijvoorbeeld bij het gebruik van hogedrukspuiten waarbij meer aerosolen worden gevormd.

### **Aanbevelingen**

Het gebruik van huishoudwater afkomstig van hemelwater of grijs water is niet geheel zonder risico's. Huishoudwater kan in het drinkwaternet komen door wanverbandingen of het kan worden gebruikt voor andere toepassingen dan toiletspoeling. Om de kwaliteit van het huishoudwater te kunnen garanderen en om de blootstelling aan ziekteverwekkers te beperken, zijn hieronder enkele aanbevelingen opgesteld voor zowel beleidsmedewerkers als voor leveranciers en installateurs.

### ***Aanbevelingen voor beleid***

Het is momenteel toegestaan om hemelwater afkomstig van daken te gebruiken voor toiletspoeling, zonder dat hier kwaliteitseisen voor gelden. Het is aan te bevelen om:

- Vast te leggen welke mate van gezondheidsrisico's van huishoudwater gemaakt van hemelwater voor toiletspoeling wordt geaccepteerd, en de bijbehorende kwaliteitseisen en monitoring van het huishoudwater.
- Het ontwerp, de aanleg en het beheer van een huishoudwatersysteem, als gescheiden systeem van het drinkwatersysteem, te beleggen bij een deskundige (gecertificeerde) organisatie.
- (Regelmatige) controle en inspectie van het huishoudwatersysteem te verplichten, waarbij onderhoud, beheer en wanverbindingen worden meegenomen. In het bijzonder wanneer een woning (tijdelijk) een andere bewoner krijgt.

Voor het toevoegen van grijs water als andere bron voor huishoudwater voor toiletspoeling gelden dezelfde aanbevelingen als voor hemelwater. Daarnaast is het nog aan te bevelen om prestatiestreefwaarden voor de zuivering van het systeem vast te leggen om de microbiologische veiligheid van het huishoudwater voor toiletspoeling te garanderen. De prestatiestreefwaarden beschrijven de minimale zuivering vereist voor elk van de groepen pathogenen, te weten bacteriën, virussen en protozoa.

Voor verplichting van het gebruik van hemelwater en/of grijs water als huishoudwater in het Bbl is naast bovenstaande punten aan te bevelen de volgende stappen te doorlopen:

1. De bestaande beheersmaatregelen voor ontwerp, de aanleg en het beheer van een huishoudwatersysteem samen met de huishoudwatersector verder aan te vullen voor zowel hemelwater als grijs water. Hierbij kunnen de normen NEN-EN 16491-1 en NEN-EN 16491-2 als basis worden gebruikt.
2. Beheersmaatregelen te verplichten die bij voorkeur zijn opgenomen in een norm, zoals NEN-EN 16491, om ervoor te zorgen dat de maatregelen ook daadwerkelijk worden opgevolgd.
3. Te onderzoeken in hoeverre beheersmaatregelen, nadat deze verplicht gesteld zijn, worden opgevolgd en hoe effectief ze zijn.
4. Op basis van bovenstaande stappen overwegen of het voldoende veilig (conform het acceptabele risico) is om gebruik van huishoudwater te verplichten in het Bbl.

Het gebruik van zowel collectieve als individuele huishoudwatersystemen kan leiden tot gezondheidsrisico's. Het is aan te bevelen om na te gaan of het haalbaar is om voor zowel collectieve als individuele installaties beheersmaatregelen te verplichten en te handhaven.

Voor de uitvoering van de kosten-baten analyse voor het gebruik van hemelwater en/of grijs water voor toiletspoeling is het aan te bevelen ook de kosten van de aanbevelingen in de berekening mee te nemen.

Om huishoudwater te gebruiken voor andere toepassingen is het aan te bevelen om kwaliteitseisen van het huishoudwater voor andere toepassingen dan toiletspoeling op te stellen, zodat het huishoudwater op een veilige manier kan worden gebruikt. Hierbij kan een hogere kwaliteit voor risicovolle toepassingen worden gehanteerd dan voor minder risicovolle toepassingen (cascaderen).

### ***Aanbevelingen voor leveranciers en installateurs***

Het is aan te bevelen om:

- De correcte aanleg en ingebruikname van het huishoudwatersysteem te borgen.
- Beheersmaatregelen toe te passen om wanverbindingen tussen het drinkwaternet en huishoudwaternet te voorkomen.

- Voorlichting te geven aan leveranciers van hemelwatersystemen over mogelijke risico's van muggen en beheersmaatregelen.
- Te overwegen om bij een herziening van NEN-EN 16941-1 en NEN-EN 1694-2 maatregelen mee te nemen die relevant zijn om groei van ziekteverwekkers te voorkomen.
- Duidelijke voorlichting aan bewoners te geven over het gebruik van het huishoudwatersysteem voor toiletspoeling, inclusief advies over het sluiten van de deksel van het toilet tijdens het spoelen, en de risico's van verkeerd gebruik van huishoudwater, wanverbindingen in de woning en onvoldoende onderhoud van het huishoudwatersysteem.

## Conclusies

Het gebruik van huishoudwater draagt bij aan het verminderen van het drinkwaterverbruik. Het is momenteel toegestaan om hemelwater afkomstig van daken te gebruiken voor toiletspoeling, zonder dat hier kwaliteitseisen voor gelden. Het is echter aan te bevelen om zowel kwaliteitseisen voor huishoudwater afkomstig van hemelwater als beheersmaatregelen, zoals voorlichting aan bewoners, te overwegen.

De microbiologische kwaliteit van grijs water is ongeveer 100 tot 10.000 keer slechter dan die van hemelwater, wat zorgt voor een hoger gezondheidsrisico. Voor een veilig gebruik van grijs water als bron voor huishoudwater is het noodzakelijk om kwaliteitseisen op te stellen waaraan het huishoudwater moet voldoen en welke mate van zuivering minimaal wordt vereist. Wanneer dergelijke eisen wettelijk zijn vastgelegd kan het gebruik van huishoudwater voor toiletspoeling afkomstig van grijs water worden toegestaan, mits er verplichtingen zijn voor ontwerp, aanleg, beheer en onderhoud van de grijs watersystemen.

Het is op dit moment niet aan te bevelen om het gebruik van huishoudwater afkomstig van hemelwater en/of grijs water te verplichten in het Bbl. Momenteel zijn er onvoldoende maatregelen van kracht voor het ontwerp, de aanleg en het beheer van een huishoudwatersysteem om mogelijke risico's, zoals wanverbindingen tussen het huishoudwater- en drinkwatersysteem, volledig uit te sluiten. De in deze kennisnotitie beschreven aanbevelingen kunnen bijdragen aan het beperken van de gezondheidsrisico's. De bestaande beheersmaatregelen voor het ontwerp, de aanleg en het beheer van een huishoudwatersysteem, zoals beschreven in NEN-EN 16941, dienen samen met de sector verder aangevuld te worden voor zowel hemelwater als grijs water als bron voor huishoudwater. Vervolgens is het aan te bevelen deze beheersmaatregelen te verplichten om ervoor te zorgen dat ze ook daadwerkelijk worden uitgevoerd. Tenslotte dient nagegaan te worden in hoeverre de beheersmaatregelen, nadat deze verplicht gesteld zijn, worden uitgevoerd en hoe effectief ze zijn. Op basis daarvan kan bepaald worden of het gebruik van hemelwater en/of grijs water in het Bbl verplicht moet worden.

Andere toepassingen van huishoudwater afkomstig van hemelwater of grijs water dan toiletspoeling kunnen leiden tot hogere gezondheidsrisico's. Er kan een afweging worden gemaakt om deze andere toepassingen toe te staan binnen een acceptabele bandbreedte. Het is dan aan te bevelen om voor huishoudwater afkomstig van zowel grijs water als hemelwater kwaliteitseisen en minimale zuivering vast te stellen afhankelijk van de toepassing en het aanvaardbare infectierisico.

## Referenties

1. Ministerie van Infrastructuur en Watermanagement, 2009. Drinkwaterwet. [wetten.nl - Regeling - Drinkwaterwet - BWBR0026338](https://wetten.nl/-/Regeling-Drinkwaterwet-BWBR0026338)
2. Ministerie van Infrastructuur en Watermanagement, 2011. Drinkwaterbesluit. [wetten.nl - Regeling - Drinkwaterbesluit - BWBR0030111](https://wetten.nl/-/Regeling-Drinkwaterbesluit-BWBR0030111)
3. Shaikh en Ahammed, 2020. Quantity and quality characteristics of greywater: A review. *Journal of Environmental Management* 261: 110266.
4. NEN-EN. 2021. NEN-EN 16941-2: Locatie gebonden niet-drinkwatersystemen - Deel 2: Systemen voor het gebruik van grijswater. Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut, Nederland.
5. Fernandes *et al.* 2007. Gastroenteritis associated with accidental contamination of drinking water with partially treated water. *Epidemiology and Infection*, 135, 818-826.
6. Van den Berg en Koop. 2023. Drinkwaterbesparing: Inventarisatie van ervaringen & leerpunten in pilots. BTO 2023.028. Nieuwegein, Nederland.
7. Phernambucq *et al.* 2023. Hemelwater- en grijswatergebruik in het gebouw. Mogelijke verplichting in het Bbl. 135780/23-009.557. Witteveen en Bos, Deventer, Nederland.
8. Vlaamse ministerie van Justitie, en Handhaving, Omgeving, Energie en Toerisme. 2023. Hemelwaterverordening van 2023. Staatsblad 56124. België.
9. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. 2024. Nationaal plan van Aanpak Drinkwaterbesparing. Den Haag, Nederland.
10. Versteegh *et al.* 1997. Gezondheidsrisico's en normstelling huishoudwater. RIVM rapport 289202019. Bilthoven, Nederland.
11. Schets *et al.* 2005 De microbiologische kwaliteit van hemelwater toegepast voor toiletspoeling, schoonmaken en tuinsproeien. RIVM rapport 703719009/2005. Bilthoven, Nederland.
12. Bouwtafel Waterzuinige Wijken. 2024. Waterbesparende technieken.
13. Ahmed *et al.* 2011. Microbiological Quality of Roof-Harvested Rainwater and Health Risks: A Review. *J. Environ. Qual.* 40:13-21.
14. Amin *et al.* 2014. Solar disinfection of *Pseudomonas aeruginosa* in harvested rainwater: a step towards potability of rainwater. *PloS one*, 9(3), e90743.
15. Ghaitidak en Yadav. 2015. Effect of coagulant in greywater treatment for reuse: selection of optimal coagulation condition using Analytic Hierarchy Process. *Desalination and Water Treatment* 55 (2015) 913-925.
16. Oh *et al.* 2016. Bathroom greywater recycling using polyelectrolyte complex bilayer membrane: advanced study of membrane structure and treatment efficiency. *Carbohydr. Polym.* 148, 161-170.
17. Atanasova *et al.* 2017. Optimized MBR for greywater reuse systems in hotel facilities. *J. Environ. Manag.*, 193, 1-9.
18. Gilboa en Friedler. 2008. UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: Kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms *Water Res.* 42 (4-5) 1043- 1050.
19. Blanky *et al.* 2015. *Legionella pneumophila*: From potable water to treated greywater; quantification and removal during treatment. *Sci Total Environ.* 515;533:557-65.
20. Chaillou *et al.* 2011. Bathroom Greywater Characterization and Potential Treatments for Reuse. *Water Air Soil Pollut* 215:31.
21. Medema *et al.* 1999. Microbiologische veiligheid van huishoudwater - voor toepassing van toilet, wassen kleding en buitenkraan. SWE 99.010. ISBN 90-74741-75-4. Nieuwegein, Nederland.

22. Butijn *et al.* 2003. Toiletgebruik in Relatie tot Blootstelling aan Micro-organismen in Aërosolen. Consumer Technology and Product Use Publicatie: 0301.
23. Shi *et al.* 2018. Quantitative microbial risk assessment of Greywater on-site reuse, Science of The Total Environment, Volume 635, 1507-1519.
24. Blanky *et al.* 2017. Greywater reuse - Assessment of the health risk induced by Legionella pneumophila. Water Res. 15;125:410-417.
25. Kusumawardhana *et al.* 2021. Microbiological Health Risk Assessment of Water Conservation Strategies: A Case Study in Amsterdam. Int. J. Environ. Res. Public Health, 18, 2595.
26. Oosterholt *et al.* 2003. Evaluatie van praktijkervaringen met huishoudwater. H2O 16, 2003
27. Hermans *et al.* 2023 Decentraal gebruik van hemelwater. 130883/23-014.039. Witteveen en Bos, Nederland.
28. NEN-EN. 2024. NEN-EN 16941-1: Locatie gebonden niet-drinkwatersystemen - Deel 1: Systemen voor het gebruik van regenwater. Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut, Nederland
29. Reynaert E *et al.* 2024. Greywater recycling for diverse collection scales and appliances: Enteric pathogen log-removal targets and treatment trains. Water Research 264, 122216.
30. EU 2020. Verordening (EU) 2020/741 van het Europees parlement en de raad van 25 mei 2020 inzake minimumeisen voor hergebruik van water <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=celex%3A32020R0741>.
31. NAS. 2020. Management of Legionella in Water Systems. National Academies of Sciences and Medicine, The National Academies Press, Washington, DC.
32. Hofman-Caris R, en Smeets P. 2025. Veilig water uit alternatieve bronnen. WICE 2025.002. KWR, Nieuwegein, Nederland.
33. Hunt en Gee 2021. Mosquito Control for Rainwater Harvesting Systems. AG-588-28.
34. Moglia *et al.* 2016. Exploring methods to minimize the risk of mosquitoes in rainwater harvesting systems. Journal of Hydrology, 543, Part B, 324-329.
35. Farooq, Z. *et al.* 2025. Impact of climate and Aedes albopictus establishment on dengue and chikungunya outbreaks in Europe: a time-to-event analysis. The Lancet Planetary Health, Volume 9, Issue 5, Pages e374-e383.

Een volledig overzicht van alle gebruikte literatuur in de literatuurstudie is op te vragen onder briefnummer Z&O/2025-0053.