



KWR 2024.047 | April 2024

TKI Circular Rain

Innovatieve buffering en zuivering van
regenwater

TKI Circular Rain

Innovatieve buffering en zuivering van regenwater

KWR 2024.047 | April 2024

Opdrachtnummer

402740

Projectmanager

Erwin Beerendonk

Opdrachtgevers

EWB, Dunea, Buro Regen en Water, Waternet, HH Rijnland, Gemeente Leiden, Aquafin, BON, Helderse Jongens, Traas en Ovaa Sport, van Tongeren Waternet, HH Delfland

Auteurs

Roberta Hofman-Caris, Ron Jong, Fabi van Berkel, Wolter Siegers, Danny Harmsen

Kwaliteitsborgers

Emile Cornelissen, Andrew Segrave

Verzonden naar

Ger Pannekoek (EWB), Henk Pannekoek (EWB), Ivo Tanis (Buro Regen en Water), Thorben Tijms (Waternet), Anne Kuiten (HH Rijnland), (Gemeente Leiden), Edwin Roest (Gemeente Leiden), Birgit de Bock (Aquafin), (BON), Roelof Hol (Hockeyclub Roomburg), Annemarie Breet (Dunea), Wendy Arkenbout (BON), Dave Kleine (Helderse Jongens), Erwin Beerendonk (KWR) Christiaan Stouten (Traas en Ovaa Sport), Bas van Schilt (Traas en Ovaa Sport), Guido van Tongeren (Van Tongeren Waternet), Fleur Holtrop (HH Delfland), Marilinde van der Meide (HH Delfland), J rome van der Boon (HH Delfland), Mark van Zuylen (EVS)

Dit rapport is openbaar.

Keywords

regenwater, hergebruik, buffering, filtratie

Jaar van publicatie
2024

Meer informatie

dr. ir. C.H.M. Hofman-Caris
T 0653198167
E roberta.hofman-caris@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



April 2024  

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevens bestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Samenvatting

Door klimaatverandering worden we in Nederland steeds meer geconfronteerd met periodes van droogte, afgewisseld door heftige piekbuien. Dit leidt enerzijds tot watertekorten, en anderzijds tot schade door wateroverlast. Het wordt hierdoor steeds belangrijker om neerslag op te vangen, en eventueel nuttig te gebruiken. De Urban Rain Shell (URS) is een concept waarbij een folie met daarin schelpen (AA Ecoschelpenmix) in de grond wordt aangebracht als een buffer om regenwater in op te slaan. Deze buffer wordt gecombineerd met een filter gevuld met een mineralenmix (AA Minerals), waardoor het afstromende regenwater wordt gezuiverd voor eventueel hergebruik. Dit concept is in het kader van het in dit rapport beschreven TKI-onderzoek getest in vijf pilots in Nederland en Vlaanderen. Het betrof een pilot bij het Brandweeropleidings- en Oefencentrum Noord Nederland (BON) in Wijster, een pilot voor de beregening van hockey- en rugbyvelden in Goes, een pilot in Amsterdam waar het water als speelwater wordt gebruikt, Fort Westoever in Den Helder, waar het als speelwater en eventueel later als proceswater voor drankenproductie kan worden toegepast, en een pilot in Wetteren, waar het water van de parkeerplaats en het dak van een winkelcentrum werd opgevangen voor gebruik als speelwater en het irrigeren van volkstuintjes. Hierbij is gekeken naar het effect van de URS op de waterkwaliteit in relatie tot hergebruik van het water als bluswater, speelwater, het beregenen van sportvelden en volkstuinten en proceswater.

Daarnaast is een overzicht gegeven van alle op dit moment relevante wet- en regelgeving in Nederland, in relatie tot de gebruikerswensen en -eisen in de verschillende pilots. Het blijkt dat er voor speelwater nog geen specifieke wet- en regelgeving is, hoewel in de literatuur wel op risico's voor dit water wordt gewezen. In dit onderzoek is de waterkwaliteit daarom vergeleken met die van zwemwater. Eventueel zou aangegeven kunnen worden dat het geen drinkwater betreft. Om risico's door groei van legionella te voorkomen wordt bij alle toepassingen aangeraden verneveling te voorkomen of additionele nazuivering, zoals UV-desinfectie, toe te passen. Voor toepassing in voedingsmiddelen wordt in feite drinkwaterkwaliteit verplicht gesteld, maar wordt het gebruik van opgevangen regenwater in sommige gevallen (als het brouwen van bier) wel gedoogd. Het hangt ook af van het verdere productieproces of zich hierbij risico's kunnen voordoen. Voor de overige toepassingen zijn geen specifieke vereisten gevonden.

Uit het onderzoek bleek dat het effluent bij alle pilots minder troebel is dan het afstromende regenwater, en ook minder zware metalen, PAK's en minerale olie bevat. Opgevangen regenwater overschrijdt vaak de normen van het infiltratiebesluit wat betreft metalen als chroom, lood, fosfaat en gesuspendeerde stof, en die van bronnen voor drinkwater op het gebied van fosfaat en lood. Filtratie door middel van de URS blijkt ten aanzien van bovengenoemde verontreinigingen gunstig voor alle in dit rapport bestudeerde toepassingen. Wel nemen, vooral in het begin, de gehalten natrium, calcium, magnesium, sulfaat en chloride toe, wat wordt veroorzaakt door het oplossen van zouten uit de schelpenmix en deels van de schelpenmix zelf. Voor de toepassingen hoeft dit echter niet problematisch te zijn. Bovendien neemt het gehalte aan zouten na enkele keren doorspoelen van het filter wel af.

Uit de metingen bleek dat de filters enige desinfectie bewerkstelligden, maar het kon niet worden vastgesteld welke mate van desinfectie bereikt kan worden. In de experimenten werden de normen voor zwemwater niet overschreden, maar dat wil niet zeggen dat kan worden geconcludeerd dat het water dus aan de normen voor zwemwater voldoet. Daarvoor is het namelijk noodzakelijk dat op drie seizoenen tweewekelijks E. coli wordt gemeten, waarbij het 95 respectievelijk 90 percentiel moet voldoen aan maxima voor een bepaalde categorie, en zoveel metingen zijn niet uitgevoerd in de pilots. De incidenteel aangetoonde aanwezigheid van legionella in het influent en/of effluent kan een reden zijn tot voorzichtigheid bij het toepassingen waarbij aerosolen gevormd kunnen worden. Het verdient aanbeveling om hierbij een risicobeheersplan op te stellen en aanvullende

maatregelen te nemen (zoals het voorkomen van verneveling in bovengronds ontwerp, aanvullende desinfectiestappen (als UV, diepte-infiltratie) en ervoor te zorgen dat het systeem bij regenval wordt ververst). Uit het onderzoek werd tevens duidelijk dat in sommige gevallen het hydraulisch ontwerp van het systeem verder geoptimaliseerd dient te worden. Dit zou ook gunstig zijn voor verder onderzoek naar de zuiveringscapaciteit van deze filters. Bij toepassingen met een laag gebruik en daardoor beperkte doorstroming (zoals speelwatersystemen in het najaar en de winter) wordt aanbevolen ervoor te zorgen dat de URS bij regenval ververst worden, zodat de verblijftijd in het filter niet te lang wordt.

Om vast te stellen in hoeverre de URS bijdraagt aan de circulariteit van een watersysteem is het 'Donut Model voor de Circulaire Economie' toegepast (Segrave, van Alphen en Roest, 2020). Voor zestien kenmerken uit dit Donut Model is een ingeschat in welke mate technische ontwerpen voor bufferen en zuiveren bijdragen aan een circulaire waterketen. Middels een vergelijkende analyse van vijf technische ontwerpen is verkend wat de bijdragen van deze ontwerpen kunnen zijn ten opzichte van de nul-situatie. De aannames over de technische ontwerpen zijn afgestemd met de projectgroep. Om tot een generieke beoordeling te komen zijn algemene gegevens verzameld over de gemeente Amersfoort, een gemiddelde Nederlandse gemeente. De analyse geeft inzicht in algemene positieve en negatieve impact van het gebruik van de technische ontwerpen, waaronder de URS, en de bijdrage van de technische ontwerpen aan de circulaire waterketen. Op basis van de algemene inzichten kan beoordeeld worden dat de URS potentie heeft om bij te dragen aan lokale circulaire waterketens. Voor negen van de zestien verschillende kenmerken scoort de URS hoger dan andere technische ontwerpen, en voor slechts twee lager. Het inpassen van technische ontwerpen betreft echter altijd maatwerk en beoordeling in een lokale context en voor een specifieke toepassing. Het is aan lokale besluitvormers om te bepalen welke kenmerken voor hen doorslaggevend zijn bij inzetten van een technisch ontwerp.

Inhoud

| | |
|---|-----------|
| Samenvatting | 2 |
| Inhoud | 4 |
| 1 Introductie | 7 |
| 1.1 Aanleiding voor het onderzoek | 7 |
| 1.2 Het zuiveringsconcept | 7 |
| 1.3 Doel van het onderzoeksproject | 8 |
| 1.4 Onderzoeksactiviteiten | 8 |
| 2 Gebruikerswensen, risico's en relevante wet- en regelgeving voor het gebruik van opgevangen regenwater | 10 |
| 2.1 Algemene wet- en regelgeving | 10 |
| 2.2 Kwaliteit van regenwater in het kader van de wetgeving | 13 |
| 2.3 Bluswater | 16 |
| 2.4 Speelwater | 17 |
| 2.5 Besproeien van sportvelden | 18 |
| 2.6 Proceswater bij bierbrouwerijen | 19 |
| 2.7 Berekening van volkstuintjes en groen | 20 |
| 3 Laboratorium-experimenten | 21 |
| 3.1 Inleiding | 21 |
| 3.2 Experimentele gegevens | 21 |
| 3.2.1 Oplossing | 21 |
| 3.2.2 Kolom-opstelling | 21 |
| 3.2.3 Instellingen kolomtesten | 22 |
| 3.2.4 Uitvoering kolomtesten | 25 |
| 4 Resultaten laboratoriumexperimenten en discussie | 27 |
| 4.1 Resultaten kolomproeven | 27 |
| 4.2 Conclusies van de kolomexperimenten | 30 |
| 5 Beschrijving pilot locaties en resultaten | 31 |
| 5.1 Brandweeropleidings- en oefencentrum Noord Nederland in Wijster | 31 |
| 5.1.1 Experimentele omstandigheden | 31 |
| 5.1.2 Resultaten | 34 |
| 5.2 Hockeyvelden Sportpark Het Schenge in Goes | 40 |
| 5.2.1 Experimentele omstandigheden | 40 |
| 5.2.2 Resultaten | 42 |
| 5.3 Speelwater Landtong Nieuw West, Amsterdam | 46 |
| 5.3.1 Experimentele omstandigheden | 46 |
| 5.3.2 Resultaten | 48 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.4 | Speelwater en sproeiwater in Wetteren (B) | 52 |
| 5.4.1 | Experimentele omstandigheden in Wetteren | 52 |
| 5.4.2 | Resultaten | 56 |
| 5.5 | Speel- en brouwwater Fort Westoever in Den Helder | 69 |
| 5.5.1 | Experimentele omstandigheden | 69 |
| 5.5.2 | Resultaten | 70 |
| 5.6 | Discussie pilotresultaten | 73 |
| 6 | Beoordeling circulariteit Urban Rain Shell | 75 |
| 6.1 | Aanpak analyse circulariteit Urban Rain Shell | 75 |
| 6.2 | Criteria voor het beoordelen van circulariteit | 76 |
| 6.2.1 | Donut Model voor de Circulaire Waterketen | 76 |
| 6.2.2 | Donut Model voor een Technisch Ontwerp | 79 |
| 6.3 | Technische Ontwerpen in de vergelijkende analyse | 79 |
| 6.3.1 | Nul-situatie | 81 |
| 6.3.2 | Innovatief ontwerp: Urban Rain Shell voor hergebruik met hoge waterkwaliteit | 82 |
| 6.3.3 | Innovatief ontwerp: Urban Rain Shell voor hergebruik met lage waterkwaliteit | 83 |
| 6.3.4 | Standaard Ontwerp: Bufferen en infiltreren | 83 |
| 6.3.5 | Standaard Ontwerp: Bufferen en hergebruik met lage kwaliteit | 84 |
| 6.3.6 | Combi-ontwerp: Bufferen en zuiveren (toepassing hoge kwaliteit water) | 84 |
| 6.4 | Resultaten analyse | 85 |
| 6.4.1 | Energieverbruik | 87 |
| 6.4.2 | Grondstoffen en Waterverbruik | 87 |
| 6.4.3 | Terugwinning Energie | 87 |
| 6.4.4 | Terugwinning grondstoffen en water | 87 |
| 6.4.5 | Gebruik duurzame energie | 88 |
| 6.4.6 | Gebruik duurzame grondstoffen en water | 88 |
| 6.4.7 | Zelfvoorzienendheid | 88 |
| 6.4.8 | Hergebruikspotentie en adaptiviteit | 89 |
| 6.4.9 | Financiële waarde | 89 |
| 6.4.10 | Integraliteit | 89 |
| 6.4.11 | Ecologische waarde | 90 |
| 6.4.12 | Volksgezondheid | 90 |
| 6.4.13 | Veiligheid | 90 |
| 6.4.14 | 91 | |
| 6.4.15 | Inclusiviteit | 91 |
| 6.4.16 | Comfort | 91 |
| 6.4.17 | Kwaliteit van de leefomgeving | 91 |
| 6.4.18 | Overwegingen bij een besluit voor een technisch ontwerp | 92 |
| 6.5 | Discussie | 93 |
| 7 | Conclusies en aanbevelingen | 94 |
| 7.1 | Conclusies | 94 |
| 7.2 | Aanbevelingen | 94 |

| | | |
|------|---|-----|
| 9 | Referenties | 96 |
| I | Wet- en regelgeving | 97 |
| II | Analysresultaten kolomexperimenten | 102 |
| III | Analysedata pilot Wijster | 104 |
| IV | Analysedata pilot Goes | 107 |
| V | Analysedata pilot Amsterdam | 110 |
| VI | Analysedata pilot Wetteren | 113 |
| VII | Analysedata pilot Den Helder | 134 |
| VIII | Criteria Donut Model uitgewerkt voor een Technisch Ontwerp | 136 |
| IX | Informatiesheet beoordeling | 142 |
| X | Kostenberekening (financiële waarde Donut Model) | 154 |
| XI | Inschatting watergebruik in Goes | 155 |

1 Introductie

1.1 Aanleiding voor het onderzoek

De KNMI'14 klimaatscenario's waarschuwen ervoor dat Nederland in de toekomst rekening moet houden met hogere temperaturen, nattere winters, drogere zomers, en heftigere buien. Daarnaast neemt zeker ook in Nederland de omvang van het stedelijk gebied toe, en wordt steeds meer oppervlak verhard. Dit zal ertoe leiden dat we in Nederland en Vlaanderen steeds vaker te maken zullen krijgen met wateroverlast, droogte en hittestress. Er zal nu al gekeken moeten worden naar maatregelen om schade en slachtoffers in de (nabije) toekomst te voorkomen.

Eén van de onderwerpen waar steeds meer aandacht voor komt is hoe om te gaan met langduriger periodes van droogte, afgewisseld door heftige piekbuien. Er is dan ook steeds meer belangstelling voor het afkoppelen van hemelwaterafvoer (HWA) van de riolering, en oplossingen om regenwater te kunnen opvangen en bufferen. Vervolgens zou het vertraagd kunnen worden afgevoerd, om overlast te voorkomen. Maar als regenwater toch al is opgevangen, is het veel interessanter om te kijken naar mogelijkheden om er nuttige toepassingen voor te vinden. Zo kan niet alleen waterschade worden voorkomen, maar kan bijvoorbeeld ook worden bespaard op drinkwatergebruik, of kunnen oplossingen worden gevonden voor problemen die ontstaan door droogte en/of hittestress. Ideeën voor het gebruik van opgevangen regenwater zijn het gebruik als proceswater, bluswater, speelwater of beregening van sportvelden of (openbaar) groen. Regenwater wordt dan beschouwd als een grondstof, en verandert van een last in een lust.

Er komt dan ook steeds meer aandacht voor het opvangen en hergebruiken van regenwater, zowel vanuit de markt ("milieubewuste consumenten"), als vanuit bijvoorbeeld drinkwaterbedrijven. Voorbeelden zijn KWR-rapporten en enkele H2O-publicaties hierover (Hofman-Caris and Bertelkamp, 2017; Hofman-Caris et al., 2019; Hofman-Caris et al., 2018; Hofman-Caris et al.; Hofman-Caris et al., 2023; Hofman and Paalman, 2014; Stofberg et al., 2019). Projecten die op dit moment worden of onlangs zijn uitgevoerd zijn VO Radicaal Nieuwe Bronnen, het WML-speerpuntonderzoek Decentrale Zuiveringen, het Superlocal-project van WML, en het TKI Urban Water Buffers.

EWB heeft een concept ontwikkeld (de 'Urban Rain Shell', URS) om regenwater te bufferen en te filtreren met een mix van schelpen en mineralen. Andere partijen hebben zich bij dit project aangesloten omdat zij nuttige toepassingsmogelijkheden zien voor het gezuiverde regenwater. De deelnemende partijen in dit project zijn: Ecologisch Water Beheer, Dunea, Buro Regen en Water, Waternet, HH Rijnland, Gemeente Leiden, Aquafin, Brandweer Opleiding- en oefencentrum Noord, Brouwerij Helderse Jongens, Traas & Ovaa Sport B.V., van Tongeren Watertechniek, en HH Delfland.

1.2 Het zuiveringsconcept

Er zijn verschillende manieren om regenwater te bufferen en te zuiveren. Welke zuivering nodig is hangt af van de beoogde toepassing. EWB heeft een ondergronds regenwaterbuffering en -zuiveringsconcept ontwikkeld, dat een ecologische, low-tech en energiezuinige manier vormt om regenwater te bufferen én te zuiveren.: de Urban Rain Shell (URS). Het werkingsprincipe van de URS berust op:

- Buffering van regenwater met behulp van gewassen zeeschelpen (een hernieuwbare grondstof)

- Zuivering van regenwater van chemische verontreinigingen (minerale oliën, PAK, zware metalen, etc.) middels een speciaal mineralenmengsel (AA minerals), een circulair materiaal. Dit filter kan zowel vóór als achter de schelpenmix worden geplaatst. In de URS vindt ook biodegradatie plaats.
- Het gezuiverde water wordt (indien mogelijk en relevant) op diepte geïnfilteerd via de DSI®-techniek¹ in het watervoerende pakket (waaruit het weer opgepompt kan worden in de buffer gedurende droge periodes). Hiermee zou eventueel extra desinfectie bewerkstelligd kunnen worden.
- Eventuele extra na-zuiveringsstappen afhankelijk van de hergebruikstoepassing. Er is hierbij naar verwachting geen remineralisatie nodig.

1.3 Doel van het onderzoeksproject

Hoewel het bufferingsconcept van EWB goed lijkt te functioneren, was er nog onderzoek nodig om vast te stellen in hoeverre de gewenste waterkwaliteit voor verschillende toepassingen gehaald kan worden met dit concept, en welke aanvullende zuivering eventueel nodig zou zijn om een veilige toepassing mogelijk te maken. Andere onderzoeksvragen voor toepassingen van regenwater zijn mogelijkheden om de kwaliteit te monitoren, wat de mogelijkheden zijn voor gebruik van regenwater binnen bestaande en toekomstige wet- en regelgeving, hoeveel regenwater er opgevangen kan worden, wat milieueffecten van opvang, zuivering en toepassing zijn, in hoeverre er wordt bijgedragen aan circulariteit, etc.

1.4 Onderzoeksactiviteiten

De bovenstaande onderzoeksvragen zijn met behulp van laboratoriumonderzoek bij KWR en pilotonderzoek op een aantal locaties onderzocht. De pilotlocaties waren:

1. Sportpark 't Schenge in Goes (berekening watervelden hockey)
2. Brandweer opleidings- en oefencentrum Noord in Wijster (bluswater)
3. Stadsbrouwerij Helderse Jongens, Den Helder (speel- en proceswater)
4. Landtong Nieuw West, Amsterdam (speelwater)
5. Sportvelden in Leiden, Roomburg (berekening watervelden voor hockey). Deze pilot is uiteindelijk niet gerealiseerd, en daarom is de locatie in Goes als bestaande locatie meegenomen.
6. Winkelcentrum Wetteren (speelwater en berekening volkstuinen)

Allereerst is een bureaustudie uitgevoerd naar bestaande wetgeving en kaders voor de kwaliteit van speelwater, proceswater, bluswater, en water voor de besproeiing van sportvelden. Hierbij zijn ook risico's in beeld gebracht voor bepaalde toepassingen.

¹ DSI®-techniek is een innovatieve infiltratietechniek voor de afvoer van regenwater en de retourbemaling van grondwater van Stichting O2DIT (<https://www.o2dit.nl/dsi/>)

Vervolgens is laboratoriumonderzoek uitgevoerd naar het vermogen van de URS om verontreinigingen in regenwater, zoals zware metalen, minerale oliën en microbiologische verontreinigingen, te verwijderen tot de vereiste concentraties in water dat wordt ingezet voor verschillende toepassingen (bluswater, speelwater, proceswater, beregening van sportvelden en groen).

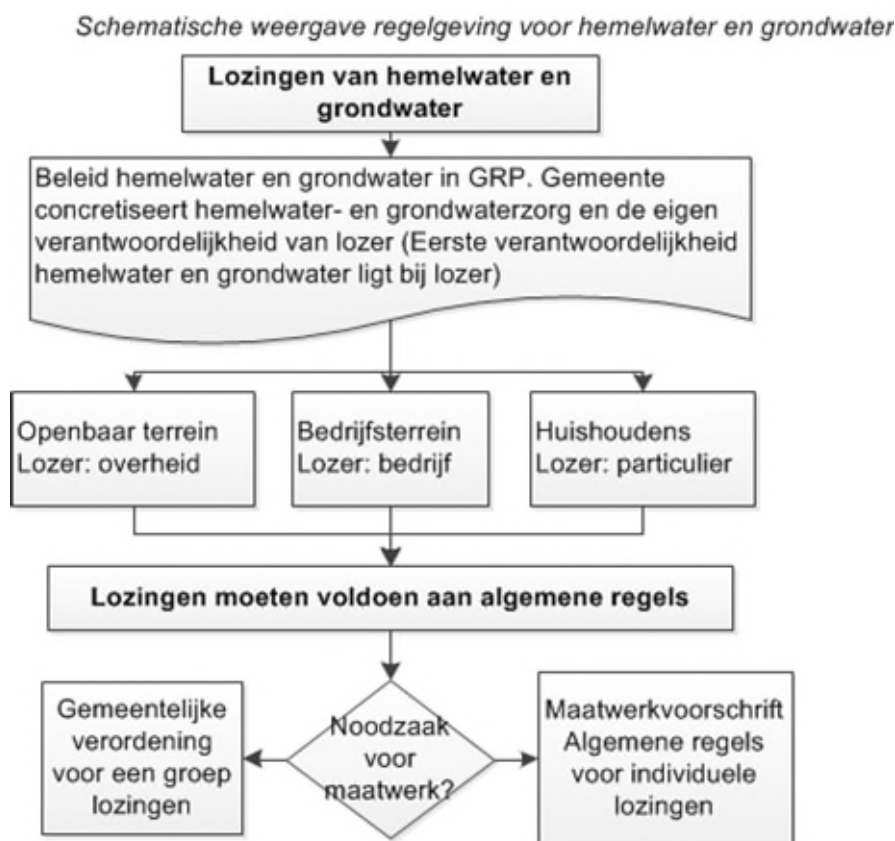
Ondertussen zijn bij een aantal pilotlocaties monsters genomen om te kunnen bekijken hoe de zuivering daar functioneert, en welke aandachtspunten er mogelijk zijn. Vervolgens zijn bij vijf pilotlocaties monsters genomen van in- en effluent van de filters, waarbij diverse parameters getest zijn. Op grond van deze gegevens, en gegevens over de verschillende locaties waar URS-systemen in gebruik zijn, is een gedetailleerder onderzoek uitgevoerd bij het brandweeropleidings- en oefencentrum Noord-Nederland, de hockeyelden in sportpark Het Schenge in Goes, speelwater Landtong Nieuw West in Amsterdam, speel- en sproeiwater in Wetteren, en speel- en brouwwater van Fort Westoever in Den Helder. Op basis hiervan kon worden aangegeven wat de kwaliteit van het opgevangen en gezuiverde regenwater is, en voor welke toepassingen dat geschikt is. Daarnaast kon worden aangegeven welke additionele zuivering nog nodig zou zijn voor bepaalde, specifieke toepassingen.

Ten slotte is op basis van het Donut Model voor de Circulaire Economie beoordeeld in hoeverre de URS een bijdrage levert aan circulariteit. Er zijn vijf ontwerpen voor buffering en zuivering vormgegeven om tot een vergelijkende analyse te komen. De inzichten en resultaten uit dit onderdeel van de studie zijn terug te vinden in hoofdstuk 6.

2 Gebruikerswensen, risico's en relevante wet- en regelgeving voor het gebruik van opgevangen regenwater

2.1 Algemene wet- en regelgeving

Voor de kwaliteit en toepassing van opgevangen van regenwater bestaat in Nederland nauwelijks wet- en regelgeving. In Artikel 3.5 van de Waterwet wordt aangegeven dat de gemeente een zorgplicht heeft voor de doelmatige inzameling en verwerking van afvloeiend hemelwater. Dit moet worden uitgewerkt in een Gemeentelijk Rioleringsplan. Een schematisch overzicht is gegeven in Figuur 1.



Figuur 1: schematische weergave van regelgeving voor hemelwater en grondwater (<https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/activiteiten/lozen-afvloeiend/zorgplicht/>).

Deze zorgplicht heeft betrekking op afvloeiend hemelwater van openbaar terrein, en als het niet anders kan, ook van particulier terrein. Maar in principe is de eigenaar van het terrein verantwoordelijk. Hij moet ervoor zorgen dat het hemelwater wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater of in de bodem wordt geïnfiltreerd. Uitgangspunt hierbij is dat hemelwater schoon is. Wanneer het hemelwater te verontreinigd is moet het als afvalwater ter plaatse door de houder worden gezuiverd. Dit kan via een IBA (Individuele Behandeling van Afvalwater), een helofytenfilter, een zuiveringsfilter of een gelijksoortige voorziening. Het Activiteitenbesluit, Besluit lozing afvalwater huishoudens en het Besluit lozen buiten inrichtingen bieden mogelijkheden om hiertoe bij

maatwerkvoorschrift eisen te stellen. De gemeenten kunnen ook bij verordening zaken voor afstromend hemelwater regelen, die in de gemeentelijke verordening te vinden zijn. Het hemelwater kan worden afgevoerd via een gemengd riool, maar dit heeft in principe niet de voorkeur. Het relatief schone hemelwater verstoort namelijk de werking van de biologische processen in een RWZI, en daarom is gescheiden afvoer eigenlijk beter. In het gemeentelijk rioleringsplan moet ook zijn aangegeven of afvloeiend hemelwater (en ingezameld grondwater) lokaal in het milieu teruggebracht mag worden. In principe heeft het de voorkeur dat hemelwater lokaal in het milieu gebracht wordt. In principe beschouwt de gemeente hemelwater als “schoon afvalwater”, waardoor het in het milieu gebracht mag worden, maar als het water verontreinigd is, kunnen hier wel eisen aan worden gesteld. Het Besluit Lozing Afvalwater Huishoudens (Blah) regelt het lozen van hemelwater van particuliere woningen. De eisen voor de lozing uit het openbaar gebied of buitenruimte staan in het Besluit Lozen Buiten Inrichtingen. Meestal mogen particulieren afvloeiend hemelwater van daken van huishoudens zonder voorwaarden lozen op:

1. het oppervlaktewater,
2. in de bodem of
3. een rioolstelsel.

Voor het lozen van hemelwater afkomstig van huishoudens op het vuilwaterriool geldt geen verbod. Dit volgt uit de combinatie van artikel 2 lid 3 en de definities van artikel 1 van het Blah. Dat dit niet de bedoeling is blijkt wel indirect uit artikel 4 lid 2 onder e (zie Bijlage I), waar over ‘doelmatig beheer van afvalwater’ gesproken wordt. Bij nieuwe bedrijfsmatige lozingen (Het Activiteitenbesluit) geldt wél een verbod.

Op het zonder voorwaarden lozen bestaan een drietal uitzonderingen. In deze gevallen zijn er wel voorwaarden nodig:

1. Als dat lokaal nodig is voor de bescherming van de kwaliteit van het oppervlaktewater of de bodem. Dan kan het bevoegde gezag via een maatwerkvoorschrift (<https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/wetgeving/algemene-regels-lozingsroute-schema/maatwerk-algemene/>), maatregelen eisen voordat de burger loost. De verwachting is dat men van die mogelijkheid bij de hierboven genoemde gebruikelijke toepassingen van bouwmaterialen geen gebruik hoeft te maken. Alleen bij een keuze voor ongebruikelijke bouwconstructies kan het wel nodig zijn. Voorbeeld: de gevel of het dak bestaat voor een groot deel uit uitloogbaar materiaal. Dan kan het hemelwater dat langs deze bouwmaterialen stroomt, beduidend meer uitgeloopte stoffen bevatten dan normaal. Het bevoegd gezag zou dan een maatregel kunnen voorschrijven. Die maatregel beperkt of wel de uitlozing, ofwel de uitgeloopte stoffen zuivert men voor de lozing.
2. Burgemeester en wethouders mogen voor een gebied regels stellen aan lozingen van afvloeiend hemelwater vanuit huishoudens. Dat mag voor de bescherming van de bodem of de RWZI. Die mogelijkheid om bij verordening gebiedsgerichte regels te stellen volgt uit artikel 10.32a van de Wet Milieubeheer (WM). Voor het bieden van de mogelijkheid om bij verordening regels te stellen, is bewust gekozen. Stel dat voor een heel gebied het gewenst is om regels te stellen aan hemelwater lozingen. Dan zou het bevoegde gezag per huishouden maatwerk moeten opleggen. De verordening geldt ook voor een voorziening voor inzameling en transport van afvalwater. Dus een openbaar vuilwaterriool of een openbaar hemelwaterstelsel. Deze mogelijkheid heeft geen betrekking op directe lozingen vanuit huishoudens in het oppervlaktewater. Die lozingen vallen namelijk niet onder de Wm, maar onder de Waterwet.
3. Voor het kunnen behalen van de doelstellingen van het hemelwaterbeleid. Dit derde punt is vooral van belang daar waar lozingen van afvloeiend hemelwater nog op een gemengde stelsel plaatsvindt. Zo heeft de gemeente mogelijkheden om deze lozingen op termijn te beëindigen. Dus van het openbaar vuilwaterriool ‘af te koppelen’.

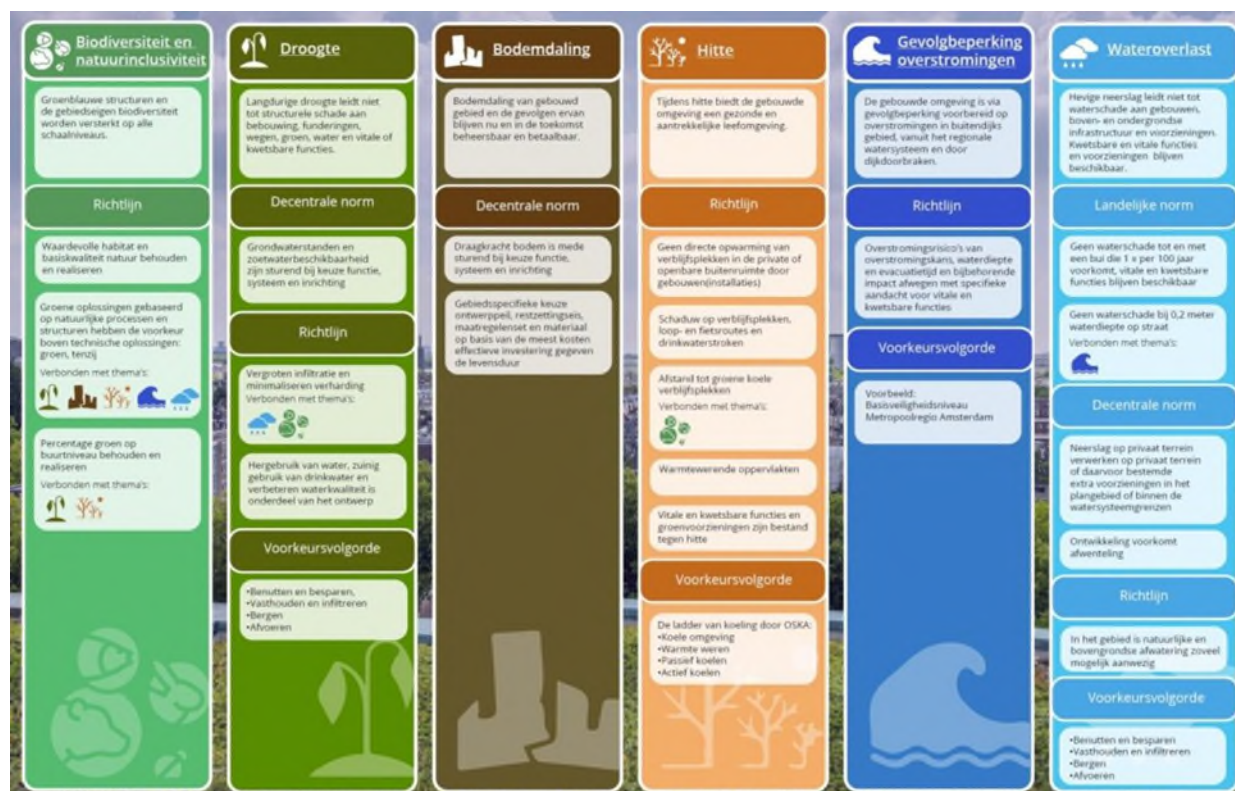
Op basis van de zorgplicht kan de gemeente maatregelen ook expliciet maken als maatwerk. De gemeente kan als maatwerkregel bij huishoudens verplicht stellen dat het afvloeiend hemelwater moet worden afgekoppeld van het vuilwaterriool. Bijvoorbeeld, omdat er een andere lozingsroute beschikbaar is. Wanneer uit een meting blijkt dat het hemelwater te verontreinigd is, moet het afvalwater ter plaatse worden gezuiverd. Bijvoorbeeld in een

helofytenfilter. Daarna kan het te lozen afvalwater lokaal in het milieu terecht komen. Het Blah biedt mogelijkheden om hier maatwerkvoorschrift eisen voor te schrijven.

Op basis van de zorgplicht kan het bevoegde gezag ook maatwerk opleggen om hemelwater schoon te houden. Gemeentes beschouwen hemelwater als “schoon afvalwater”.

Volgens de Wet Milieubeheer (Wm) moet Het afvloeiend hemelwater bij voorkeur lokaal in het milieu terecht komen. Deze voorkeur volgt uit de [voorkeursvolgorde](#) die staat in artikel 10.29a van de Wm (zie Bijlage I). Een lokale verordening kan gebiedsgerichte regels stellen aan lozingen van afvloeiend hemelwater vanuit huishoudens. Deze mogelijkheid volgt uit [artikel 10.32a van de Wm](#). Dit staat in de Wm via de Wet gemeentelijke watertaken. Het geldt ook breder dan voor lozingen vanuit huishoudens.

Op 23 maart 2023 heeft het kabinet de ‘Maatlat voor een klimaatadaptieve groene bebouwde omgeving’ uitgebracht (Figuur 2), waarmee het overheden en de bouwsector duidelijkheid wil geven over hoe te bouwen in het veranderende klimaat. Deze maatlat maakt duidelijk wat klimaatadaptief bouwen inhoudt en werkt toe naar een minder vrijblijvende aanpak ([Kabinet zet volgende stap in klimaatbestendig bouwen | Nieuwsbericht | Rijksoverheid.nl](#) en [Het kabinet komt met Landelijke Maatlat voor klimaatadaptief en groen bouwen - Klimaatadaptatie \(klimaatadaptatienederland.nl\)](#)). Hij geeft een landelijk, uniform referentiekader waarmee projecten klimaatbestendig en groen kunnen worden uitgevoerd, en beschrijft onder andere doelen voor de thema’s wateroverlast, droogte, hitte, biodiversiteit, bodemdaling en gevolgsbeperking van overstromingen. De uitwerking is echter locatiespecifiek. Er worden geen maatregelen voorgeschreven, zodat er ruimte blijft voor innovaties. Voorlopig is de maatlat nog niet wettelijk verplicht, maar er wordt verkend of deze maatlat een juridische status kan krijgen.



Figuur 2: schema met maatregelen in het kader van klimaatadaptief bouwen ([De landelijke maatlat - KAN bouwen](#))

Voor het thema wateroverlast wordt hierin gesteld dat er geen of zo min mogelijk waterschade mag ontstaan, en dat de voorkeursvolgorde van maatregelen is het benutten en besparen, vasthouden en infiltreren, bergen en afvoeren van de neerslag. Dit is een andere volgorde dan de wet milieubeheer aangeeft.

In het kader van het huidige onderzoek is dan ook gezocht naar wet- en regelgeving waarmee mogelijk rekening moet worden gehouden bij verschillende toepassingen van opgevangen hemelwater.

Artikel 5 van het Drinkwaterbesluit (Bijlage I) stelt dat als primaire bron van huishoudwater van daken afstromend hemelwater moet worden gebruikt. In geval van tekorten kan deze bron worden aangevuld met grond- en/of drinkwater. Ander water (zoals oppervlaktewater) kan alleen worden gebruikt als de toezichthouder (IL&T) van oordeel is dat het gebruik ervan geen nadelige gevolgen zal hebben voor de gezondheid van de consumenten en hen toebehorende goederen. Volgens artikel 4 van het drinkwaterbesluit (Bijlage I) mag huishoudwater in Nederland alleen worden gebruikt voor toiletspoeling. Deze regeling is er gekomen omdat er zich gevallen hebben voorgedaan, bijvoorbeeld in de Utrechtse wijk Leische Rijn, waarbij honderden mensen ziek werden. Hier was per abuis een koppeling gemaakt tussen een huishoudwaterleiding en een drinkwaterleiding (Medema, 1999; Versteegh et al., 1997). Op dit moment wordt er wel onderzoek gedaan om te zien of een breder gebruik onder bepaalde voorwaarden wel kan worden toegestaan. Ook VEWIN dringt hierop aan, waarbij wel wordt gesteld dat de volksgezondheid het primaire belang is ([Waterbewust bouwen: wijziging Bouwbesluit en Drinkwaterbesluit - Standpunten Vewin](#)).

2.2 Kwaliteit van regenwater in het kader van de wetgeving

Hoewel regenwater door veel mensen wordt gezien als een bron van schoon water, is dat in de praktijk lang niet altijd het geval. Veel verontreinigingen uit de atmosfeer worden via neerslag uitgespoeld, waardoor regenwater toch polycyclische aromatische koolwaterstoffen, ammoniak, en bestrijdingsmiddelen kan bevatten. Zodra regenwater echter op een oppervlak wordt opgevangen, kunnen er allerlei verontreinigingen in terecht komen. Deels is dat doordat het oppervlak waar het regenwater over loopt kan oplossen in het water. Aangezien er niet veel stoffen in opgelost zijn, en de pH van regenwater zuur is, kunnen bijvoorbeeld metalen van het dak, de goot of de regenpijp in het water oplossen. Voor veel toepassingen is het echter een groter probleem dat er ook microbiologische verontreinigingen in terecht kunnen komen, door fecale verontreinigingen op het oppervlak (Hofman-Caris and Bertelkamp, 2017).

Aangezien er geen wetgeving bestaat voor het gebruik van regenwater voor bluswater, speelwater of het besproeien van sportvelden, is er gekeken naar welke wetgeving wel van belang zou kunnen zijn. Dat is in deze paragraaf uitgewerkt, waarbij tevens is gekeken naar die parameters, die een aandachtspunt kunnen vormen bij het toepassen van regenwater.

De volgende wetten en regels kunnen van belang zijn bij het gebruik van opgevangen regenwater:

- Drinkwaterwet
- Drinkwaterbesluit
- Drinkwaterregeling
- Infiltratiebesluit bodembescherming (dit geldt alleen als water weer actief onttrokken wordt. Geldt niet voor passieve infiltratie, droogtecompensatie in taluds e.d.).
- Europese zwemwaterrichtlijn uit 2006. Deze is aanvullend op de Kaderrichtlijn Water.

Er worden eisen gesteld aan de kwaliteit van het water dat een drinkwaterbedrijf gebruikt als bron. Het drinkwaterbedrijf moet aantonen dat de zuivering adequaat is, en er veilig en schoon drinkwater geleverd kan

worden. De eisen die aan het geproduceerde water worden gesteld zijn weergegeven in Bijlage A van het drinkwaterbesluit. In onderstaande tabellen zijn deze normen voor verschillende componenten weergegeven. Ook voor het infiltreren van water in de ondergrond (infiltratiebesluit bodembescherming) gelden strenge eisen, die in deze tabellen zijn weergegeven.

Een paar jaar geleden heeft Stowa een inventarisatie gemaakt van de samenstelling van regenwater op verschillende plekken (Boogaard and Lemmen, 2007). Hiervoor zijn 500 metingen verricht in Nederland en 200 in het buitenland. De bijbehorende database (database regenwater 3 1 vs 2017) is in latere jaren aangevuld. In het huidige rapport hebben we gekeken naar de data van 2007 tot 2017. In onderstaande tabellen (Tabel 1 en Tabel 2) hebben we telkens de gemiddelde waarde en de maximale waarde genomen van de concentraties van de componenten die gemeten zijn.

Tabel 1: concentraties metalen in opgevangen regenwater, en normen hiervoor in bronnen voor drinkwater, drinkwater en infiltratiewater. RW = regenwater, DW = drinkwater, infiltr. = infiltratiewater; gem = gemiddelde concentratie, max. = maximale concentratie.

| Parameter | Cadmium Cd (µg/L) | Chroom Cr (µg/L) | Koper Cu (µg/L) | Kwik Hg (µg/L) | Lood Pb (µg/L) | Nikkel Ni (µg/L) | Zink Zn (µg/L) |
|-----------|----------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| RW gem. | 0 | 3 | 5 | 0 | 25 | 2 | 45 |
| RW max. | 5,3 | 340 | 726 | 15 | 4700 | 240 | 28000 |
| Bron DW | 1,5 | 20 | 50 | 0,3 | 30 | - | 200 |
| DW | 5 | 50 | 2000 ^{*)} | 1 | 10 | 20 | 3000 |
| Infiltr. | 0,4 | 2 | 15 | 0,05 | 15 | 15 | 65 |

^{*)} Deze waarde geldt voor een monster van voor menselijke consumptie bestemd water dat via een passende steekproefmethode aan de kraan verkregen is, en dat representatief mag worden geacht voor de gemiddelde waarde die de verbruiker wekelijks binnen krijgt. Deze methode is beschreven in de 'VROM-Inspectierichtlijn Harmonisatie Meetprogramma Drinkwaterkwaliteit' (<https://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/1798754>).

Tabel 2: concentraties overige parameters in opgevangen regenwater, en normen hiervoor in bronnen voor drinkwater, drinkwater en infiltratiewater. RW = regenwater, DW = drinkwater, infiltr. = infiltratiewater; gem = gemiddelde concentratie, max. = maximale concentratie. TSS = totaal gesuspendeerde stof (total suspended solids)

| Parameter | chloor Cl (mg/L) | ijzer Fe (µg/L) | Totaal fosfor P _{tot} (mg/L) | stikstof N (mg/L) | Totaal gesuspendeerde stof TSS (mg/L) | zuurstof O ₂ (mg/L) | E-coli (kev/100 mL) |
|-----------|------------------------|--------------------|---|----------------------|--|--------------------------------------|------------------------|
| RW gem. | 111,7 | 95,4 | 0,6 | 2,8 | 36 | 2,93 | 13.000 |
| RW max. | 6.300 | 7.700 | 22 | 875 | 974 | 12,2 | 340.000 |
| Bron DW | 150 | 300 | 0,3 | 11,3 | - | >5 | 2.000 |
| DW | 150 | 200 | - | 11,3 | - | >2 | 0 |
| Infiltr. | 200 | = | 0,4 | 5,6 | 0,5 | - | - |

Uit deze tabellen is op te maken dat gemiddeld de concentraties voor chroom, lood, fosfor en gesuspendeerde stof de normen van het infiltratiebesluit overschrijden. Lood overschrijdt ook de drinkwaternorm, en het fosforgehalte de norm voor bronnen voor drinkwater. Het aantal kolonievormende eenheden *E.-coli* overschrijdt zowel de norm voor bronnen van drinkwater als die van drinkwater zelf.

Bij beschouwing van de maximaal aangetroffen concentraties blijkt dat in feite alle parameters alle normen voor bronnen van drinkwater, drinkwater en het infiltratiebesluit overschrijden. Alleen voor koper in drinkwater geldt

dat niet, omdat daar het gehalte, na stilstand in de kraan wordt genomen. En voor zuurstof geldt het niet, aangezien het meestal om met zuurstof verzadigd water gaat.

In het infiltratiebesluit worden ook richtlijnen aangegeven voor natrium, sulfaat, minerale oliën en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs), zoals weergegeven in tabel 3.

Tabel 3: normen voor minerale oliën en PAKs in het infiltratiebesluit

| component | eenheid | Maximale gehalte |
|---------------|---------|------------------|
| Natrium | mg/L | 120*) |
| sulfaat | mg/L | 150*) |
| Minerale olie | µg/L | 200 |
| Naftaleen | µg/L | 0,1 |
| anthraceen | µg/L | 0,02 |
| fenanthreen | µg/L | 0,02 |
| cryseen | µg/L | 0,02 |
| fluorantheen | µg/L | Som < 0,1 |

*) punt van aandacht bij de vergunningverlening in verband met lokale situatie

(<https://wetten.overheid.nl/BWBR0005957/2009-12-22#Bijlage1>)

In de Zwemwaterrichtlijn (Europese Commissie, 2006) wordt de kwaliteit van binnenwateren en kust- en overgangswateren gespecificeerd, zoals weergegeven in Tabel 4 en Tabel 5. Vervolgens wordt de zwemwaterkwaliteit hier weer aan gerelateerd, waarbij gedurende drie seizoenen tweewekelijks wordt gemeten.

Tabel 4: kwaliteitstabel binnenwateren

| A | B | C | D | E |
|--|-----------------------|-----------------|------------------------|------------------------------------|
| Parameter | Uitstekende kwaliteit | Goede kwaliteit | Aanvaardbare kwaliteit | Referentiemethoden voor de analyse |
| Intestinale enterococci (kve/100 ml) | 200*) | 400*) | 330**) | ISO 7899-1 of ISO 7899-2 |
| Escherichia coli (kve/100 ml) | 500*) | 1.000*) | 900**) | ISO 9308-3 of ISO 9308-1 |
| *) gebaseerd op een beoordeling van het 95-percentiel | | | | |
| **) gebaseerd op een beoordeling van het 90-percentiel | | | | |

Tabel 5: kwaliteitstabel kustwateren en overgangswateren

| A | B | C | D | E |
|--|------------------------------|------------------------|-------------------------------|---|
| Parameter | Uitstekende kwaliteit | Goede kwaliteit | Aanvaardbare kwaliteit | Referentiemethoden voor de analyse |
| Intestinale enterococcen (kve/100 ml) | 100 ^{*)} | 200 ^{*)} | 185 ^{**)} | ISO 7899-1 of ISO 7899-2 |
| Escherichia coli (kve/100 ml) | 250 ^{*)} | 500 ^{*)} | 500 ^{**)} | ISO 9308-3 of ISO 9308-1 |
| *) gebaseerd op een beoordeling van het 95-percentiel | | | | |
| **) gebaseerd op een beoordeling van het 90-percentiel | | | | |

Zwemwater wordt als slecht beoordeeld als de metingen slechter zijn dan de waarden voor aanvaardbare kwaliteit in de kolommen D. Aanvaardbare kwaliteit zwemwater komt overeen met microbiologische metingen gelijk zijn of beter dan die in de kolommen D (aanvaardbare kwaliteit). Zwemwater wordt beoordeeld met een goede kwaliteit als de microbiologische tellingen gelijk zijn of beter dan de waarden in kolom C (goede kwaliteit). En bij uitstekend zwemwater zijn de tellingen gelijk of beter dan die in kolom B (uitstekende kwaliteit). Hierbij moet worden opgemerkt dat er alleen microbiologische parameters worden genoemd, en bijvoorbeeld geen chemische. Wel moet er een zwemwaterprofiel worden opgesteld, dat een beschrijving inhoudt van de fysische, geografische en hydrologische kenmerken van zwemwater en andere oppervlaktewateren in het beïnvloedingsgebied van het betrokken zwemwater die een bron van verontreiniging zouden kunnen zijn. Verder moet er een beschrijving en beoordeling worden toegevoegd van oorzaken van verontreiniging die het zwemwater kunnen aantasten en schade toebrengen aan de gezondheid van zwemmer, een beoordeling van de mogelijke proliferatie van cyanobacteriën, macroalgen en/of fytoplankton. Daarnaast is er informatie nodig over het risico dat er een kortstondige verontreiniging plaatsvindt en de locatie van het controlepunt. Afhankelijk van bovengenoemde indeling van de zwemwaterkwaliteit moeten periodiek controles plaatsvinden. Er worden echter geen specifieke chemische parameters genoemd.

In het huidige onderzoek wordt een aantal toepassingen voor opgevangen hemelwater beschouwd. Hieronder volgt een overzicht van regelingen waarmee rekening dient te worden gehouden bij het gebruik van dit water.

2.3 Bluswater

Aan bluswater worden alleen eisen gesteld op het gebied van de hoeveelheden water die beschikbaar moeten zijn binnen een bepaalde afstand (Eijsink, 2011; van Werkhoven, 2007). Er worden officieel geen kwaliteitseisen aan dit water gesteld. De brandweer heeft echter wel een voorkeur voor water dat weinig zout bevat, omdat dat de tanks kan aantasten. Soms wordt ook drinkwater gebruikt. Er bestaat soms de vrees dat hierdoor vervuiling van het drinkwater in het leidingnet zou kunnen optreden (Eijsink, 2011). Bovendien worden de laatste jaren steeds meer zogenaamde “zelfreinigende netten” aangelegd. Dit betekent dat de leidingdiameters kleiner worden gemaakt, zodat het water met een hoger debiet er doorheen stroomt. Daardoor neemt de kans af dat er zich neerslag in de leidingen ophoopt, wat tot verontreiniging met deeltjes zou kunnen leiden. Dit betekent echter wel dat de grote debieten, die de brandweer nodig heeft, niet gehaald kunnen worden bij een dergelijk leidingnet.

Hoewel er dus geen officiële eisen worden gesteld aan bluswater, wijzen de microbiologen van KWR er wel op dat bij vernevelen van water micro-organismen als legionella ziekten kunnen veroorzaken. Daarom is het eigenlijk wel van belang, zeker bij een opleiding- en oefencentrum waarbij mensen regelmatig in contact komen met verneveld water, dat dit water microbiologisch veilig is.

2.4 Speelwater

Op steeds meer plaatsen verschijnen speeltuinen en bedriegertjes, waar kinderen zich met water kunnen vermaken. van den Bogaard (2007) stelt: “Op natuurlijk speelwater zijn geen formele eisen van toepassing. Uiteraard geldt de algemene zorgplicht. Eventueel kan een eis worden gesteld op basis van de (kader)wet collectieve preventie volksgezondheid. De kwaliteit en veiligheid van speelwater bij instituties zoals een kinderopvang, school of besloten speeltuin is een verantwoordelijkheid van de instelling zelf (voor zover geen sprake is van een ‘permanent’ peuterbadje). Zij kunnen het bewaken via hun (verplichte) algemene risico-inventarisatie en –evaluatie. Daarin kunnen zij laten zien in hoeverre zij weet hebben van eventuele risico’s en welke keuzes zij maken in de betekenis en de aanvaardbaarheid van die risico’s. Dit kunnen ze aan de ouders of gebruikers duidelijk maken.” Verder geeft hij aan dat “De Voedsel en Waren Autoriteit kijkt wanneer zij komen voor toezicht ook naar maatregelen voor legionellapreventie bij vernevelende apparatuur, als dit niet onder andere wetgeving is geregeld. De herziene reikwijdte van het zogenaamde Attractiebesluit (Ministerie van Volksgezondheid Welzijn en Sport, 2007) gaat niet in op de kwaliteit of veiligheid van speelwater. Wel vallen veerpontjes of vloten die zich op publiek speelterrein bevinden en waarbij de nadruk ligt op spelen (niet op transport), onder dit besluit. Dit geldt niet als het om een tijdelijke constructie gaat.” Kort daarna kwam er een aanbeveling van de Baaij et al. (2008), die stellen dat beheerders van speelterreinen zich ervan bewust moeten zijn dat het water verontreinigd kan zijn. Bij grondwater speelt dit probleem in de regel minder dan bij oppervlaktewater, maar er wordt aangeraden altijd een bordje erbij te zetten dat het geen drinkwater is, en bij hoge temperaturen het water te laten testen. Ook de GGD Rotterdam-Rijnmond wijst op de zorgplicht van degenen die speelwater aanbieden (Vlaar, 2017).

Op zich is spelen met water prima voor de ontwikkeling van kinderen, maar onderzoek van Heleen de Man (de Man, 2014; Leenen and De Man, 2014) heeft uitgewezen dat hier risico’s aan verbonden zijn. Zo blijkt 4% van de kinderen ziek te worden van het spelen bij bedriegertjes, 10% van het spelen in wadi’s (een bufferings- en infiltratievoorziening bedoeld, die tijdelijk gevuld is met hemelwater), en 20-30% bij het spelen in regenwater op straat. Deze percentages zijn sterk afhankelijk van de temperatuur: bij warm weer wordt 30% van de kinderen, die in bedriegertjes spelen, ziek. Hoewel het gelukkig in veruit de meeste gevallen om onschuldige infecties gaat, zijn infecties met blijvende gevolgen niet uit te sluiten volgens het onderzoek van de Man. Naar aanleiding van onder andere dit onderzoek is het RIVM begonnen met een inventarisatie van de risico’s van speelwater. Op het ogenblik bestaat hiervoor nog geen regelgeving, maar het is de verwachting dat die er in de (nabije) toekomst wel zal komen. Ondertussen heeft het RIVM in 2017 een “Waterkwaliteitscheck” uitgebracht voor water in de stad (Schets et al., 2017). Hierin wordt geconcludeerd dat het van belang is dat ontwerpers en verantwoordelijken voor stedelijk waterbeheer zich bewust moeten zijn van de mogelijke gezondheidsrisico’s die met nieuwe en bestaande concepten geïntroduceerd kunnen worden. Het gaat hierbij met name om de microbiologische veiligheid van het water. Met behulp van de waterkwaliteitscheck is het mogelijk hier rekening mee te houden, en door bepaalde keuzes vooraf of door aanpassingen in het ontwerp (zoals oppervlakkige afstroming te prefereren boven verneveling door middel van bedriegertjes) of andere maatregelen de gezondheidsrisico’s te beperken.

Hoewel er nog geen specifieke wetgeving is met betrekking tot speelwater, zijn er wel enkele verordeningen die hier zijdelings mee te maken hebben, zoals de Wet Publieke gezondheid en de Wet Hygiëne en Veiligheid Badinrichtingen en Zwemgelegenheden (WHVBZ). Die laatste en bijbehorend besluit (BHBZV) geven aan dat Categorie B (badjes) drinkwaterkwaliteit moeten hebben, en Categorie C en D (Natuurlijk zwemwater) aan bepaalde bacteriologische normen moeten voldoen. Voor goedgekeurd zwemwater geldt een 95% percentiel voor *E. Coli* < 1000 kve /100 ml, en intestinale enterococcon < 400 kve/100 ml. Dit komt erop neer dat men het een acceptabel risico vindt als per keer 5-10% van de mensen die in natuurlijk zwemwater zwemmen ziek wordt (ter vergelijking, bij drinkwater is het aanvaardbare risico 10^{-4} per jaar). Als men bedenkt dat 1 g vogelpoep ongeveer 10^8 kve bevat, betekent dit dat 1 g vogelpoep 10-20 m³ zwemwater ongeschikt kan maken. Het risico op infectie bij eenmalige blootstelling aan water in bedriegertjes, wadi’s of op straat 10-100 keer zo hoog dan voor eenmalig

zwemmen in nog net goedgekeurd zwemwater. Uiteraard speelt ook de frequentie van blootstelling een rol bij de grootte van het risico.

De Wet Innovatie en Kwaliteit Kinderopvang (1/1/2018) stelt geen regels voor speelwater maar kent wel een zorgplicht. Die houdt in dat het risico van spelen met water onaanvaardbaar is als:

- het voor kinderen niet of nauwelijks herkenbaar (dus verborgen) is
- De ernst van mogelijk letsel niet in verhouding staat tot de speel/leerwaarde van het risico
- Er geen of onvoldoende maatregelen zijn genomen om het mogelijk blijvend letsel te beperken

Het is te verwachten dat toekomstige regelgeving met betrekking tot speelwater in de openbare ruimte in dezelfde richting zal wijzen.

2.5 Besproeien van sportvelden

Evenmin als voor speelwater, gelden er officiële kwaliteitsregels voor het besproeien van sportvelden. Dit water wordt ook niet beschouwd als speelwater. Zeker watervelden moeten regelmatig gespreeid worden. Dit betekent bijvoorbeeld één á twee keer per hockeywedstrijd, waarbij telkens 5-6 m³ water wordt gebruikt (van Bergen). Filtering van water ten behoeve de beregening van sportvelden (gras en kunstgras) staat uitsluitend in het teken van de optimalisering van de kwaliteit van het speelveld (veldonderhoud). In dit kader is het belangrijk op te merken dat verhoogde concentraties calcium en magnesium na filtratie door een URS een positief effect kunnen hebben op het gras. In Vlaanderen worden irrigatienormen gehanteerd voor irrigatiewater (zie tabel 6). Hierin wordt een maximum natriumgehalte van 30-60 mg/L en chloorgehalte van 5-100 mg/L aangegeven. In Nederland bestaat een dergelijke normering niet, maar het zou voor natuurgras wel van belang kunnen zijn. Belangrijk bij het veldonderhoud is het filteren van metalen en het tegengaan van algengroei (Roest, 2020).

Bij veel beheerders van sportvelden staat de microbiologische veiligheid van dit sproeiwater niet echt op het netvlies, of wordt gedacht dat er geen risico's zijn omdat er weinig of ongevaarlijke micro-organismen in zouden zitten, of de temperaturen van het water te laag zijn om problemen te kunnen veroorzaken. Onderzoek bij KWR heeft echter uitgewezen dat deze aannames niet terecht zijn. Het besproeien van sportvelden kan zeker gezondheidsrisico's met zich meebrengen. Legionella kan in elk geval in opgevangen regenwater voorkomen. In principe geldt dat wanneer water- en oppervlaktetemperaturen tussen de 28 en 42°C liggen, Legionella pneumophila kan groeien. Bij watertemperaturen tussen de 20 en 28°C geldt dat Legionella anisa gaat groeien. Dat is een minder gevaarlijke variant, maar aantallen moeten voldoen aan dezelfde norm als Legionella pneumophila in Nederland. Kortom, voor zowel oppervlaktewater als regenwater is groei van Legionella een risico in warme zomers. Bovengrondse slangen kunnen behoorlijk opwarmen en vaak zijn de gebruikte materialen bevorderlijk voor ontwikkeling van biofilms. Dus zelfs als er schoon water ingaat kan er in een leiding biofilmvorming plaatsvinden. Als de sproeisystemen (leidingen, slangen, buffers) bij warm weer niet in gebruik zijn kan er legionella groeien, die vervolgens in het weekeinde word uitgesproeid over de velden. Daarnaast kunnen ook andere opportunistische ziekteverwekkers groeien in dit soort systemen en soms zelfs bij lagere temperaturen. Voorbeelden hiervan zijn Pseudomonas aeruginosa, Mycobacterium avium complex, Mycobacterium kansasii, Aspergillus fumigatus en Stenotrophomonas maltophilia. Over het algemeen veroorzaken deze micro-organismen ziekten bij mensen met een verzwakt immuunsysteem of longaandoeningen (rookverleden, COPD, etc) (dit geldt ook voor Legionella pneumophila). Bij sportclubs kun je verwachten dat de meeste mensen die sporten relatief gezond zijn, maar of dat bijvoorbeeld ook geldt voor het publiek kun je je afvragen. Tevens wordt ook vaker tot op oudere leeftijd gesport en ouderen behoren ook tot de risicogroep voor deze pathogenen.

Samenvattend kunnen we dus stellen dat de grootste risico's zich voordoen als sportvelden beneveld worden, zeker als dat gebeurt als er mensen (sporters en/of publiek) aanwezig zijn. Deze risico's zijn misschien nog niet vertaald in wet- en regelgeving, maar kunnen wat KWR betreft niet genegeerd worden, en zouden een aandachtspunt moeten zijn voor de beheerders van de sportvelden. In het project Urban Water Buffers (<https://www.kwrwater.nl/projecten/urban-waterbuffer/>) (<https://www.urbanwaterbuffer.nl/>) (Zuurbier et al., 2017) is de gemeente Rotterdam aangeraden het in de bodem geïnfilterde regenwater pas na een verblijf in de bodem van minimaal drie dagen te gebruiken voor het besproeien van het veld van Sparta, om microbiologische risico's te beperken.

2.6 Proceswater bij bierbrouwerijen

Er zijn in Nederland enkele brouwerijen die bier maken van opgevangen regenwater. Volgens de Nederlandse Voedsel en Waren Autoriteit (NVWA), moet proceswater bij bierbrouwerijen drinkwaterkwaliteit hebben. Daar voldoet ongezuiverd regenwater in de regel niet aan. Er zou dus een extra zuivering nodig zijn. Tijdens het brouwproces wordt het water echter verhit, en uiteindelijk komt er ook alcohol in. Het is dan de vraag of dit niet voldoende desinfectie is voor consumptie. Het probleem hoeft echter niet alleen desinfectie te zijn, maar kan ook veroorzaakt worden door een relatief hoog gehalte zware metalen in het water. Ook kan de vraag worden gesteld of een overschrijding van een bepaalde parameter in regenwater voor de bierproductie een probleem is, aangezien consumenten in de regel aanzienlijk minder bier consumeren dan drinkwater. Hierover zijn de bierbrouwers met de NVWA in gesprek. Voor alsnog moet proceswater voor het brouwen van bier echter nog aan de kwaliteitseisen voor drinkwater voldoen, zoals weergegeven in bijlage A van het Drinkwaterbesluit.

De Stadsbrouwerij is zich inmiddels ook gaan toeleggen op de productie van ijsthee. Ook hierbij vinden enkele processen plaats die voor desinfectie zorgen, waarmee de risico's van microbiologische verontreinigingen afgedekt zouden moeten worden.

2.7 Berekening van volkstuinjtes en groen

In Nederland zijn hier geen specifieke normen voor opgesteld. In Vlaanderen hanteert het Departement voor Landbouw en Visserij de chemische kwaliteitsnormen zoals weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6: chemische kwaliteitsnormen voor irrigatiewater in Vlaanderen

| waterkwaliteit | normen |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| E _{Ca} bij 25 °C | 0,8 – 1,5 mS/cm |
| Natrium (Na) | 1,5 – 3,0 mmol/L of 30 – 60 mg/L |
| Chloor (Cl) | 1,5 – 3,0 mmol/L of 50 – 100 mg/L |
| Calcium (Ca) | < 3,0 mmol/L of < 120 mg/L |
| Magnesium (Mg) | < 1,0 mmol/L of < 25 mg/L |
| Sulfaat (SO ₄) | < 1,0 mmol/L of < 100 mg/L |
| Bicarbonaat (HCO ₃) | > 4,0 mmol/L of > 60 mg/L |
| IJzer (Fe) | 20 – 30 µmol/L of 1,1 – 1,7 mg/L |
| Borium (B) | 20 – 50 µmol/L of 0,2 – 0,6 mg/L |
| Zink (Zn) | 5 – 10 µmol/L of 0,2 – 0,7 mg/L |
| Mangaan (Mn) | 10 – 20 µmol/L of 0,5 – 1 mg/L |
| Koper (Cu) | 1 – 3 µmol/L of 0,06 – 0,2 mg/L |

3 Laboratorium-experimenten

3.1 Inleiding

In de URS (zie paragraaf 1.2) spelen een schelpenbuffer en een mineralenmix een cruciale rol. Om te kunnen achterhalen wat het effect van beide systemen op de waterkwaliteit is, zijn kolom-experimenten uitgevoerd met de bufferschelpen, de mineralenmix, en met een combinatie van beide. De uitkomsten van dit onderzoek waren bedoeld als input voor de pilot-testen, die verderop in dit rapport beschreven worden. Deze experimenten zijn uitgevoerd op het lab van KWR in Nieuwegein, met materialen van EWB.

3.2 Experimentele gegevens

3.2.1 Oplossing

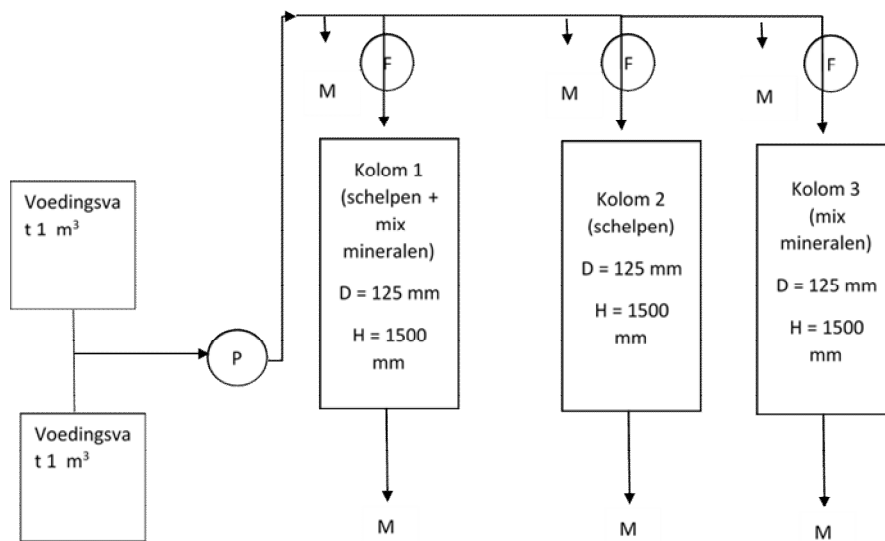
Aangezien het lastig is voldoende regenwater op het juiste moment beschikbaar te hebben, is ervoor gekozen synthetisch regenwater te maken. Voor de bereiding hiervan is uitgegaan van de samenstelling die eerder in het onderzoek van TAUW is gebruikt (Steketee, 2019). Hier werd aan demi-water natriumfosfaat (0,7 mg P/L), koperzout (10 µg Cu/l), chroom(III)zout (5 µg Cr/L), zinkzout (50 µZn/L), fenanthreen (circa 0,1 µg/L) en fluorantheen (circa 0,1 µg/L) toegevoegd. In het huidige onderzoek is gebruik gemaakt van RO-permeaat. Dit was verkregen door drinkwater te behandelen met behulp van twee horizontale membranen 4040 (UAN1 30016 installatie), waarin zich een RO SW30-4040 FILMTEC membraan bevindt. Hieraan zijn “verontreinigingen” toegevoegd om afstromend regenwater te simuleren. De samenstelling van het water is weergegeven in Tabel 7. Om het effect van het buffersysteem op micro-organismen te testen, werden E.coli bacteriën en MS2-fagen toegevoegd aan het water. Elke dag werd hiervoor een nieuwe batch bereid.

Tabel 7: samenstelling synthetisch regenwater voor de kolomexperimenten

| Component | Concentratie |
|----------------------------------|--------------|
| NaH ₂ PO ₄ | 0,7 mg P/L |
| CuSO ₄ | 10 µg Cu/L |
| Kaliumdichromaat | 5 µg Cr/L |
| zinkchloride | 50 µg Zn/L |
| Fenanthreen | 0,3 µg/L |
| Fluorantheen | 0,3 µg/L |

3.2.2 Kolom-opstelling

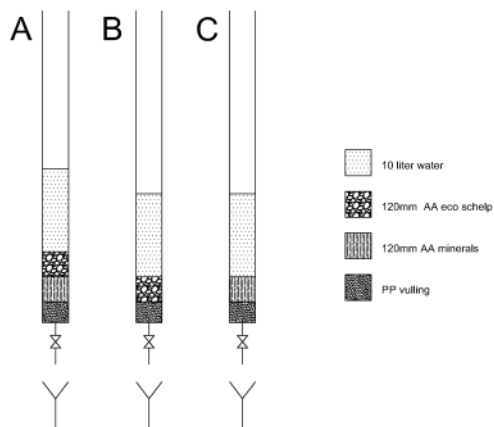
De experimenten zijn uitgevoerd in een opstelling met drie parallelle PVC-kolommen met een diameter van 125 mm. De opstelling is schematisch weergegeven in Figuur 3. De kolomwanden werden ingepakt om zonlicht te weren. Het buffersysteem bevindt zich immers onder de grond, en wordt dus niet beïnvloed door zonlicht.



Figuur 3: Schematische weergave van de kolomopstelling voor de lab-testen

3.2.3 Instellingen kolomtesten

In de eerste kolom werd eerst een laag AA Minerals gebracht, waarna er een laag AA Ecoschelpenmix (droog materiaal) boven werd gebracht. De tweede kolom bevatte een laag AA Ecoschelpenmix, en de derde AA Minerals (zie Figuur 4). Onderin elke kolom bevond zich een vulling van polypropyleen (PP) om het materiaal op zijn plek te houden.



Figuur 4: Kolomopstelling met verschillende filtermaterialen.

Het was de bedoeling de instellingen te realiseren die zijn weergegeven in tabel 8.

Tabel 8: *gewenste procesinstellingen tijdens kolomexperimenten*

| Kolomberekeningen | | | |
|-------------------------------|------|-------|-------|
| Diameter | 125 | 125 | mm |
| Snelheid | 1 | 1 | m/uur |
| Debiet | 12,3 | 12,3 | L/uur |
| | | | |
| Bedhoogte | 17 | 100 | cm |
| Volume schelpen/mix mineralen | 2086 | 12272 | ml |
| Contacttijd | 612 | 3600 | sec |
| | 10,2 | 60,0 | min |

Tijdens de drie testdagen zou elke dag een verse oplossing van 1 m³ zou worden gebruikt. Hierbij zouden twee bedrijfsvoeringen worden getest met de volgende monsternamen-momenten:

1. 3 dagen (72 uur) continue filtratie. Monsternamen op t = 0, na 1 dag en na 3 dagen
2. 24 uur filteren – 24 uur stilstand – 24 uur draaien. Monsternamen t = 0, na 1 dag, na 2 en 3 dagen

Alle monsters zouden worden geanalyseerd op Cr, Cu, Zn, P, Fenanthreen, Fluorantheen, Ca (mg/L), pH, elektrische geleidbaarheid (EGV), O₂, totaal organisch koolstof (TOC), troebelheid en microbiologie (E.coli en fagen).

Tijdens de eerste testen werd een totale bedhoogte van 100 cm toegepast (100 cm schelpenmix, 100 cm AA Mineralen, en 50 cm AA Mineralen met erop 50 cm schelpenmix). De beide kolommen die de mineralenmix bevatten in de lab-opstelling, bleken echter nauwelijks water door te laten. Vervolgens zijn testen uitgevoerd met verschillende bedhoogtes. In figuur 5 zijn foto's van enkele testen te zien. In de linker kolom is een laag van 50 cm mineralenmix te zien, na terugspoelen met RO permeaat. Door het terugspoelen werden kleine deeltjes uit het mengsel verwijderd. Het bovenwater dat na terugspoelen werd toegevoegd is hier vrij helder. In de rechter kolom is een laag te zien van slechts 20 cm mineralenmix, die niet was teruggespoeld, en waaraan RO permeaat werd toegevoegd. Het fijne materiaal in de mix wervelde op door het aanbrengen van het water, waardoor een hele kolom met bruin bovenwater ontstond (de fijne fractie deeltjes, die door het terugspoelen van de linker kolom was verwijderd). In de middelste kolom bevindt zich een 100 cm dikke laag AA Ecoschelpenmix, met relatief schoon bovenwater. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9: effect terugspoelen op bereikte debiet door de kolom

| Kolom | Materiaal | Teruggespoeld | debiet | contacttijd |
|-------|---------------------------|---------------|---------|-------------|
| | | | L/uur | min |
| 1 | 50 cm AA minerals | Ja | 6 – 8 | 60 - 46 |
| 2 | 100 cm AA Eco schelpenmix | Nee | 12 | 30 |
| 3 | 20 cm AA minerals | Nee | 0,5 - 1 | 375 - 188 |

Hieruit blijkt dat de schelpenmix het water goed doorlaat, maar dat de mineralenmix zoveel kleine deeltjes bevat, dat stroming van het water door de kolom ernstig wordt bemoeilijkt. Aangezien niet kan worden uitgesloten dat juist die kleine deeltjes een belangrijke rol spelen in de werking van de mineralenmix, is besloten met niet gespoeld materiaal te werken, maar dan wel een veel lagere bedhoogte van 12 cm toe te passen.



Figuur 5: Linker kolom 50 cm AA minerals na terugspoelen met schoon bovenwater; middelste kolom; 100 cm AA Ecoschelpenmix; Rechter kolom 20 cm AA minerals zonder terugspoelen met bruin bovenwater

Overigens bleek het permeaat van de kolom met 20 cm mineralenmix ook sediment te bevatten, zoals te zien is in Figuur 6.



Figuur 6: effluent uit de rechter kolom van figuur 5, met 20 cm mineralenmix, niet teruggespoeld

3.2.4 Uitvoering kolomtesten

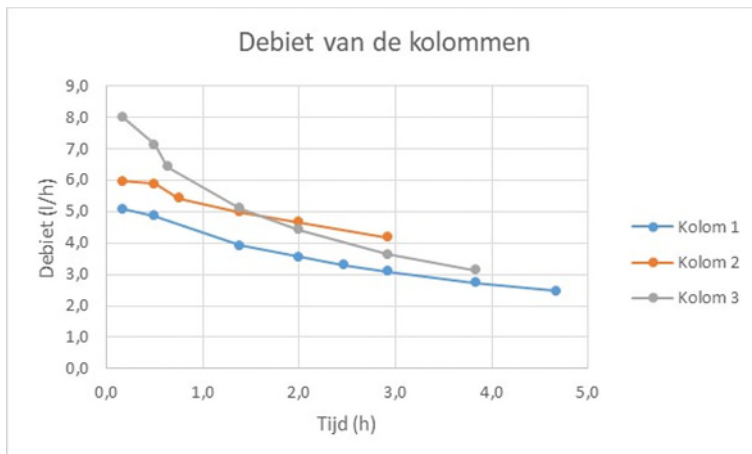
Uit de eerder uitgevoerde testen bleek dat bij een laag van 12 cm mineralenmix een debiet tussen de 0,5 tot 1 L/uur bereikt kon worden door een vast volume water (15 L) boven het filter aan te brengen, en het filterbed door middel van de zwaartekracht te laten doorstromen. Er werd voorkomen dat de kolommen droog kwamen te staan. Bij een debiet van gemiddeld 0,7 L/uur wordt een contacttijd van 2 uur bereikt, wat veel langer is dan waar oorspronkelijk van werd uitgegaan. De werkelijke procesinstellingen zijn weergegeven in Tabel 10. De eerste 3 L werden afgevangen, en daarna vond pas de werkelijke monsternamings plaats (monstervolume 2 L). Voordat het testwater op de kolom werd aangebracht werd het bed gevuld met RO permeaat tot een uiteindelijke bovenwaterstand van 1 cm. Bij de kolom met alleen schelpenmix werd het debiet verlaagd tot ongeveer 1 L/uur, om een vergelijkbare situatie te krijgen met de filters die ook mineralenmix bevatten.

Voor de experimenten werden de kolommen eerst gewoon gespoeld door telkens 10 L RO permeaat boven op het bed (met een hoogte van 12 cm) aan te brengen en er doorheen te laten lopen. Tijdens de experimenten werd 10 L synthetisch regenwater op het bed aangebracht. Na acht uur (wat overeenkwam met ongeveer vier bedvolumes in kolom B en C (Figuur 4), en twee bedvolumes in kolom A) werden monsters genomen.

Tabel 10: werkelijke procesinstellingen tijdens kolomtesten (BV = bedvolumes)

| Kolom | Materiaal | Bovenwater | Monsternamings | Indicatie debiet | Indicatie contacttijd |
|-------|--|------------|----------------|------------------|-----------------------|
| | | (L) | na .. BV | ca .. (l/h) | ca .. (min) |
| 1 | 12 cm AA Eco schelpenmix + 12 cm AA minerals | 15 | 3 | 5 – 2,5 | 16 - 32 |
| 2 | 12 cm AA Eco schelpenmix | 15 | 3 | 6 – 4,2 | 14 - 19 |
| 3 | 12 cm AA minerals | 15 | 3 | 8 – 3,1 | 10 - 26 |

In figuur 7 is het verloop van het debiet in de drie kolommen op een dag vóór de werkelijke test weergegeven, als indicatie van het verloop van het debiet tijdens de experimenten. Tijdens de experimenten leek het verloop van het debiet visueel gelijk te zijn aan wat een dag eerder werd gemeten.



Figuur 7: Verloop van het debiet over de kolommen in de tijd één dag vóór experimenten met dosering, gebruikt als indicatie. Kolom 1 bevat schelpenmix en mineralen, kolom2 alleen de schelpenmix, en kolom 3 alleen de mineralen.

Een foto van de monsternamen uit de kolommen en van de monsterflessen zelf is weergegeven in figuur 8.

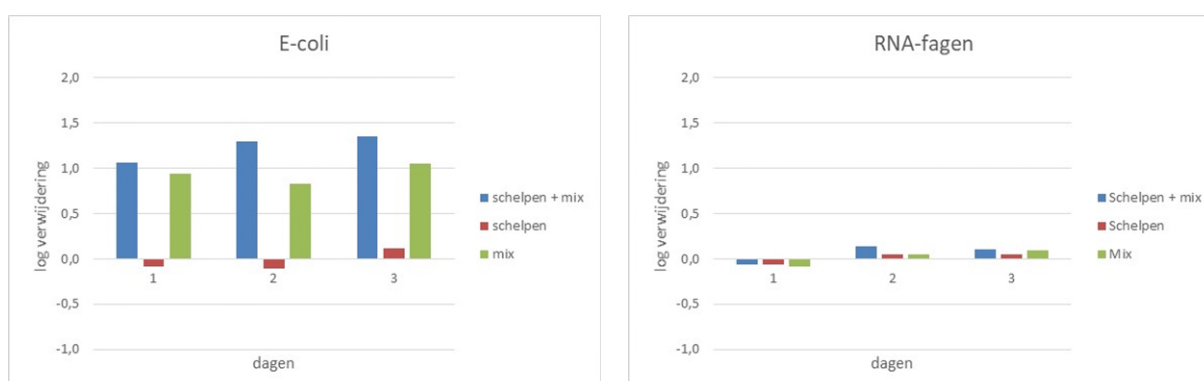


Figuur 8: Opvang van het water van de kolommen tijdens het experiment en de flessen met het monstermateriaal op de laatste dag (respectievelijk influent en kolom 1, 2 en 3)

4 Resultaten laboratoriumexperimenten en discussie

4.1 Resultaten kolomproeven

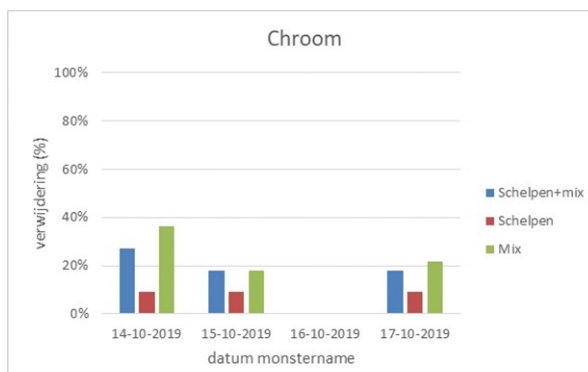
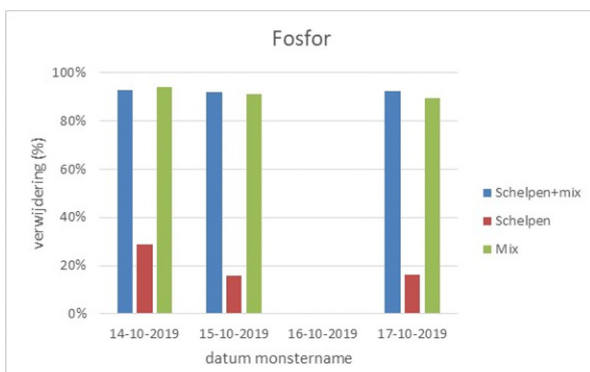
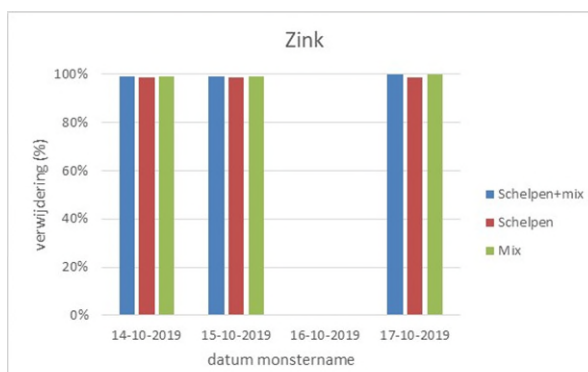
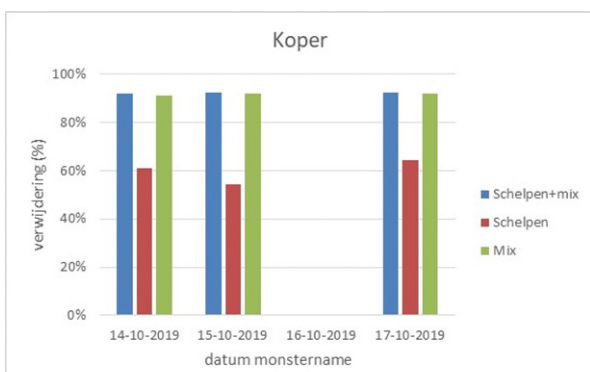
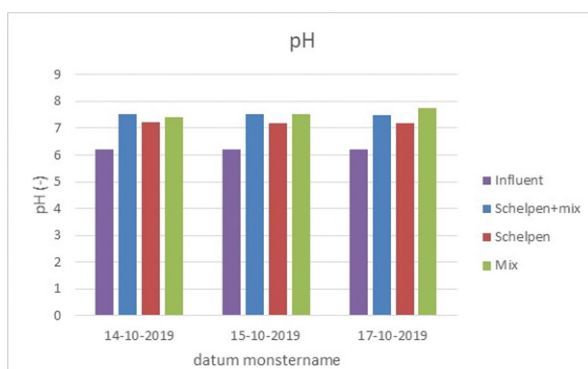
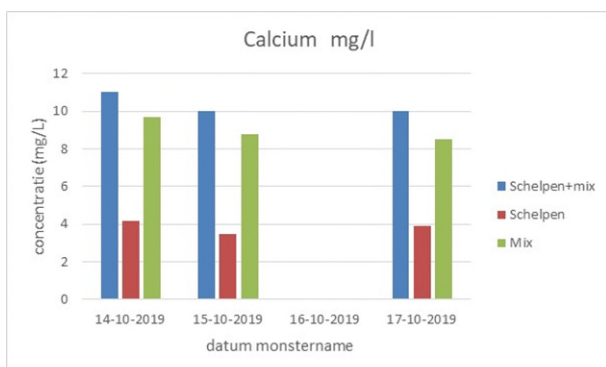
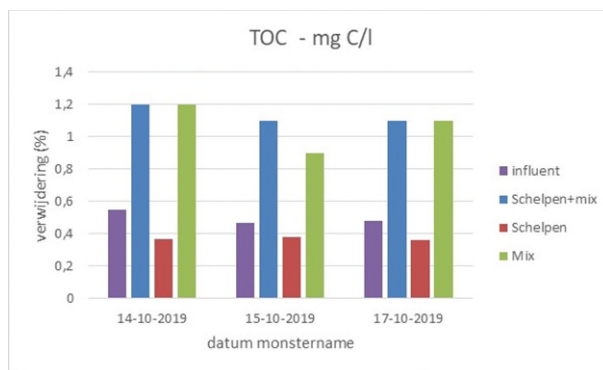
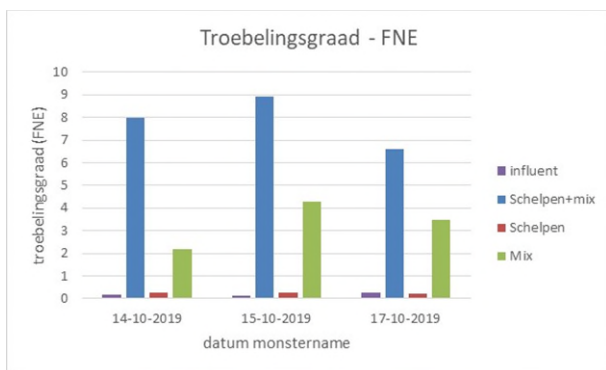
De analyseresultaten van de uitgevoerde experimenten zijn weergegeven in Bijlage II (tabel 29 en tabel 30). In figuur 9 zijn de analyseresultaten van de microbiologische parameters *E.coli* en MS2-fagen weergegeven. Figuur 9 toont de verwijdering van micro-organismen door de schelpen, de mineralenmix en de combinatie van beide. De uitgangskonzentraties waren vergelijkbaar met wat regelmatig in regenwatermonsters wordt aangetroffen.

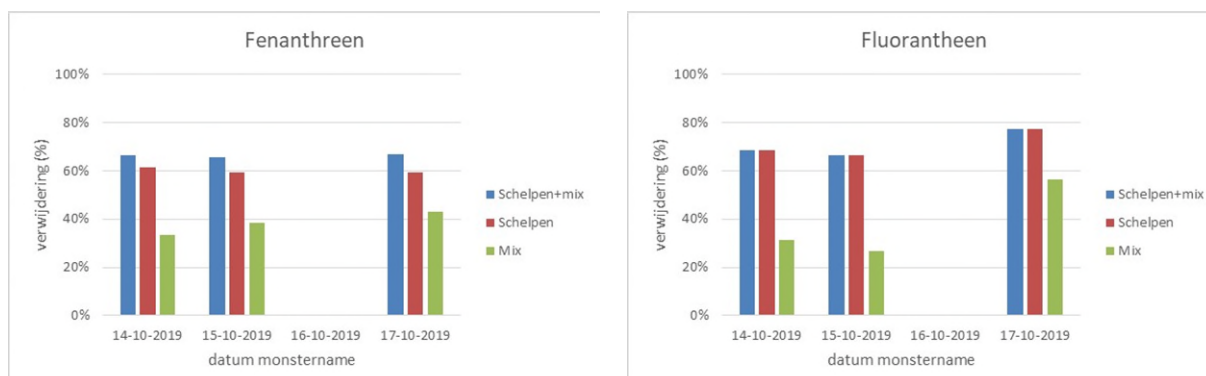


Figuur 9: Microbiologische parameters weergegeven in log-verwijdering. De kolommen zijn respectievelijk schelpen en mix (1), schelpen (2) en mix (3).

Uit bovenstaande resultaten blijkt dat er ongeveer 1-log (90%) verwijdering optreedt van *E.coli* door de mineralenmix. Dit komt overeen met wat een zandfilter normaal gesproken aan verwijdering laat zien. Voor toepassing als bijvoorbeeld drinkwater is dit nog lang niet genoeg. De schelpen zelf dragen niet bij aan de verwijdering van *E. coli*. Voor de virussen, waarvoor de fagen model staan, wordt geen significante verwijdering waargenomen, noch door de schelpen, noch door de mineralenmix. Regenwater bevat gemiddeld 13.000 kve/l, met uitschieters tot 340.000 kve/l. In bronnen voor drinkwater mag maximaal 2000 kve/l worden aangetoond en in drinkwater zelf is het in principe 0. Ofwel, met een maximale verwijdering van 1 log (en die is niet afhankelijk van de beginconcentratie), is het gemeten gemiddelde gehalte nog steeds zo'n 1300 kve/L, wat veel te hoog is in vergelijking met drinkwater. Het gehalte valt onder het gehalte dat genoemd wordt in de norm voor zwemwater, maar doordat niet over een langere periode meerdere monsters zijn genomen, kan niet worden geconcludeerd dat het water aan de normen voor zwemwater voldoet (zie paragraaf 2.1 met betrekking tot de regelgeving over zwemwater).

De resultaten van de chemisch/fysische analyses zijn weergegeven in figuur 10.





Figuur 10: Chemische parameters weergegeven in % verwijdering of toename met uitzondering van de zuurgraad (pH). De kolommen zijn respectievelijk schelpen en mix (1), schelpen (2) en mix (3). In deze grafieken is de verwijdering ten opzichte van het influent weergegeven, behalve in die gevallen waarin dit niet mogelijk of zinvol was. Het calciumgehalte van het influent < 1,0 mg/L.

Aangezien het kunstmatige regenwater nauwelijks troebelheid vertoonde, weinig TOC en geen calcium bevatte, zijn voor deze parameters de gemeten waarden aangegeven. Voor de overige parameters is de verwijdering door de schelpen en/of de mineralenmix weergegeven.

De chemische analyses laten het volgende beeld zien:

- De zuurgraad (pH) neemt licht toe, en ook het gehalte aan Ca wordt hoger. Dit is vooral te verklaren door het langzaam oplossen van CaCO_3 uit zowel de schelpen als uit de mineralenmix (die ook schelpen bevat) door het licht zure RO-water. Het bereikte Ca gehalte (ca 10 mg/l) is overigens nog steeds relatief laag. Voor drinkwater wordt circa 1-1,5 mmol/l totale hardheid (Ca + Mg) geadviseerd, dit komt overeen met zo'n 40 mg Ca/l (nog exclusief Mg concentratie)². Uit de grafiek kan worden opgemaakt dat de grootste bijdrage aan het calciumgehalte uit de mineralenmix afkomstig is, wat verklaard kan worden doordat in de mix de schelpen gebroken fracties zijn, en dus een groter oppervlak vertegenwoordigen.
- Het organisch koolstof gehalte (TOC) neemt toe door de mix en neemt licht af door de schelpen. Er wordt ongeveer 1 mg C/l bereikt na contact met de mix. Waarschijnlijk zijn dit met name humus- en fulvinezuren, die langzaam oplossen in het RO water. De afname veroorzaakt door de schelpen kan niet direct worden verklaard. De concentraties zijn overigens niet erg afwijkend van gemiddelde drinkwaterconcentraties.
- De troebelheid neemt vooral toe in de kolom met zowel schelpen als mineralenmix, al is ook een significante toename na alleen de mineralenmix te zien. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de verblijftijd in de gemengde kolom hoger was, doordat de totale kolomlengte hier het dubbele was. Visueel is waargenomen dat het water, naarmate de experimenten vorderden, steeds minder gekleurd en troebel leek. Overigens liggen de bereikte waarden (tot 9 FNE) wel veel hoger dan er in drinkwater gemeten en toegestaan wordt. Voor zwemwater gelden deze waarden niet.
- De zware metalen Cu en Zn worden 80-100 % verwijderd, voor Cr ligt dat lager (rond de 20 %). Hierbij speelt de mix en voor zink vooral ook de schelpen een belangrijke rol. Mogelijk dat adsorptie plaatsvindt aan negatief geladen organisch materiaal of kleideeltjes. Een andere verklaring is dat koper en zink als carbonaten zijn neergeslagen, omdat er door het oplossen van de schelpen voldoende carbonaat in het water aanwezig is. Voor chroom zal een ander verwijderingsmechanisme een rol moeten spelen, omdat chroom als negatief geladen complex (van een evenwichtsmengsel van $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ofwel CrO_4^{2-}) voorkomt. Voor zink en koper voldoet het water aan het infiltratiebesluit, maar voor chroom niet.

² In het Drinkwaterbesluit wordt een minimumgehalte van 1 mmol/L verplicht gesteld. Voor de 'stabiliteit' van het water (gevoeligheid voor pH0 wordt meestal een iets hoger gehalte aangehouden.

- Fosfor (gemeten als fosfaat) neemt met ca 90 % af, met name door de mix. Deze afname kan mogelijk worden verklaard door de aanwezigheid van ijzer(hydr)oxide (complexen) waarvan bekend is dat deze goed fosfaat kunnen binden. De schelpen vertonen ook enige adsorptie (tot 20 %).
- De verwijdering van fenanthreen en fluorantheen tot ongeveer 60 % wordt bij fluorantheen beperkt door de onderste analysegrens, waardoor geen hogere verwijdering gemeten kon worden. Beide stoffen zijn erg slecht oplosbaar, en hierdoor was vooraf niet exact bekend hoeveel van deze stoffen is gedoseerd aan het artificiële regenwater. De verwijdering van circa 60 % fenanthreen wordt zowel waargenomen bij de schelpen als de mix, waarbij de schelpen het merendeel lijken te adsorberen. Men zou eerder verwachten dat meer adsorptie zou plaatsvinden door het organisch materiaal in de mix. Hoewel een verwisseling van de monsters niet kan worden uitgesloten, lijkt het vrij onwaarschijnlijk dat juist deze monsters bij alle drie de monsterdagen verwisseld zouden zijn. Een verklaring hiervoor is dan ook niet beschikbaar op dit moment.
- In de pilots zijn ook minerale oliën gemeten, maar die zijn in deze labtesten niet toegevoegd.

4.2 Conclusies van de kolomexperimenten

Door het uitvoeren van kolomexperimenten zijn onder gecontroleerde omstandigheden testen uitgevoerd met artificieel regenwater, wat in contact is gebracht met schelpen en een mix aan bodemmateriaal en mineralen geleverd door EWB. Hierbij is getracht de situatie van de praktijktoepassingen na te bootsen. Het is echter nog wel de vraag of deze experimenten inderdaad goed vergelijkbaar zijn met de praktijktoepassingen: in de URS met schelpen en mineralen ontstaat een mix van regenwater (soms met een lange contacttijd) en eerder geïnfilteerd water. De waterstroom en kwaliteit in de kolomexperimenten zijn eenduidig, terwijl er in de praktijk veel wisselingen kunnen plaatsvinden.

Het blijkt dat in de kolommen de mineralenmix slechts moeizaam water liet door stromen. Hoe dit in de bodem in zijn werk gaat, is niet duidelijk. Het is aan te bevelen om bij de pilots controles uit te voeren, of het regenwater inderdaad door de mix heen sijpelt, of er op één of andere manier langs kan lopen.

Uit de kolomexperimenten blijkt dat *E.coli* bacteriën deels worden verwijderd; het is echter de vraag of dit voldoende is om het water bijvoorbeeld te gebruiken voor speelwater of processen waarbij aerosolen worden gevormd. Het gehalte van het water was in deze experimenten lager dan wat in de normen voor zwemwater wordt genoemd, maar om te kunnen concluderen dat het water aan de normen voor zwemwater voldoet, zouden over drie seizoenen tweewekelijks monsters genomen moeten zijn.

Door het contact met de schelpen en de mix nemen de zuurgraad en het calcium gehalte toe. Het Ca gehalte blijft echter aan de lage kant, en vormt dus geen probleem voor bijvoorbeeld een toepassing als drinkwater. Zware metalen worden redelijk tot goed verwijderd door zowel de schelpen als de mix. Ook vindt verwijdering plaats van fenanthreen en fluorantheen, waarbij opvalt dat de schelpen hierbij een grote rol lijken te spelen. Hier is voor alsnog geen verklaring voor te vinden. Fosfaat lijkt ook te binden, waarschijnlijk door ijzer(hydr)oxide materiaal in de mix. TOC en de troebelheid nemen naar verwachting toe, al lijkt visueel de troebelheid af te nemen naarmate de tijd verstrijkt en dus de hoeveelheid behandeld water toeneemt.

Het is nog lastig vast te stellen voor welke doeleinden het behandelde water het meest geschikt zal zijn, het heeft niet de kwaliteit van drinkwater (voor bijvoorbeeld bierbrouwers). Toepassingen op dit moment zijn bluswater, speelwater en beregening van sportvelden. De toepassing van bluswater en beregening van (onbemenste) sportvelden lijkt met dit water voorlopig het meest geschikt, echter zullen uitgebreide metingen, met name bij geschikte praktijkinstallaties, hier een beter licht op moeten gaan werpen. Om dit verder te onderzoeken zijn metingen gedaan in pilotinstallaties, die verderop in dit rapport worden beschreven. Mogelijk is afhankelijk van de gewenste toepassing een extra desinfectieproces (bijvoorbeeld UV-desinfectie of infiltratie in de diepe ondergrond) noodzakelijk, om ook andere toepassingen mogelijk te maken.

5 Beschrijving pilot locaties en resultaten

In het begin van het project zijn enkele metingen uitgevoerd aan opvangen regenwater in Leiden. Aangezien er echter geen pilot gebouwd is hier, is deze locatie verder niet meegenomen in de rest van het onderzoek.

In alle pilots is een schelpkalk vitaliser in het systeem ingebouwd. Onderzoek naar de eventuele effecten hiervan maakte geen deel uit van het in dit rapport beschreven onderzoek, en resultaten hiervan worden hier dan ook verder buiten beschouwing gelaten.

Op basis van de inleidende metingen bij enkele pilots is een analyseprogramma opgesteld. Daarna zijn op verschillende momenten analyses uitgevoerd van het water vóór het filtersysteem en erna. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel in Bijlage III. Een overzicht is weergegeven in onderstaande grafieken en tabellen.

Bij de pilot met Aquafin in Wetteren is de meest intensieve monstercampagne uitgevoerd, waarbij een hogere monsternamefrequentie werd toegepast, en ook flowmeters werden gebruikt.

5.1 Brandweeropleidings- en oefencentrum Noord Nederland in Wijster

5.1.1 Experimentele omstandigheden

In Wijster bevindt zich het brandweeropleidings- en oefencentrum Noord Nederland (BON). Op deze locatie wordt afstromend hemelwater van de rijbaan opgevangen en gezuiverd in een URS. Het project dient als voorbeeld om te laten zien hoe je in de bebouwde omgeving of op parkeerplaatsen bij natuurgebieden bluswaterbuffers kunt realiseren met regenwater als bron. Een overzicht van de locatie met pilot is weergegeven in figuur 11.



Figuur 11: situatie en foto's van de pilotlocatie in Wijster (bron Google Maps), de gele rechthoek is de locatie van de URS.

De URS op het oefencentrum is zo ontworpen dat afstromend hemelwater eerst wordt gezuiverd m.b.v. de AA minerals die zijn aangebracht rondom de aanvoer verdeeldrain, die wordt gevoed via een molgoot en een straatkolk. Vervolgens wordt het hemelwater opgeslagen in de AA Ecoschelpenmix. Een afvoerverzameldrain onder in de URS (met een overstortniveau op bovenkant URS) leidt het gezuiverde water naar een pompput van waaruit het wordt opgepompt om branden te kunnen blussen. Door in dit systeem de AA Ecoschelpenmix toe te passen ná de AA Minerals, wordt de pompput zeer snel aangevuld zodra er water bij een brandoefening wordt onttrokken (i.v.m. de zeer hoge k-waarde³ van de AA Ecoschelpenmix van ca 1200-1300 m/d). Op het moment dat de URS volledig is gevuld, wordt overtollig gezuiverd water benut om grondwater in het diepere watervoerende pakket aan te vullen. Dit gebeurt m.b.v. een DSI-infiltratieput op ca 30m diepte. Op het moment dat de URS leeg begint te raken (na gebruik in droge periodes), wordt hij weer automatisch gevuld met grondwater d.m.v. een pompput. Deze pompput pompt grondwater op vanuit dezelfde watervoerende laag die wordt aangevuld door de DSI in natte tijden.

³ De k-waarde is een maat voor de doorlatendheid van de bodem. De k-waarde van zand kan horizontaal tot 50 m/dag zijn en verticaal circa 5 m/dag. Bij klei en veen is de k-waarde ongeveer 0,1 m/dag.

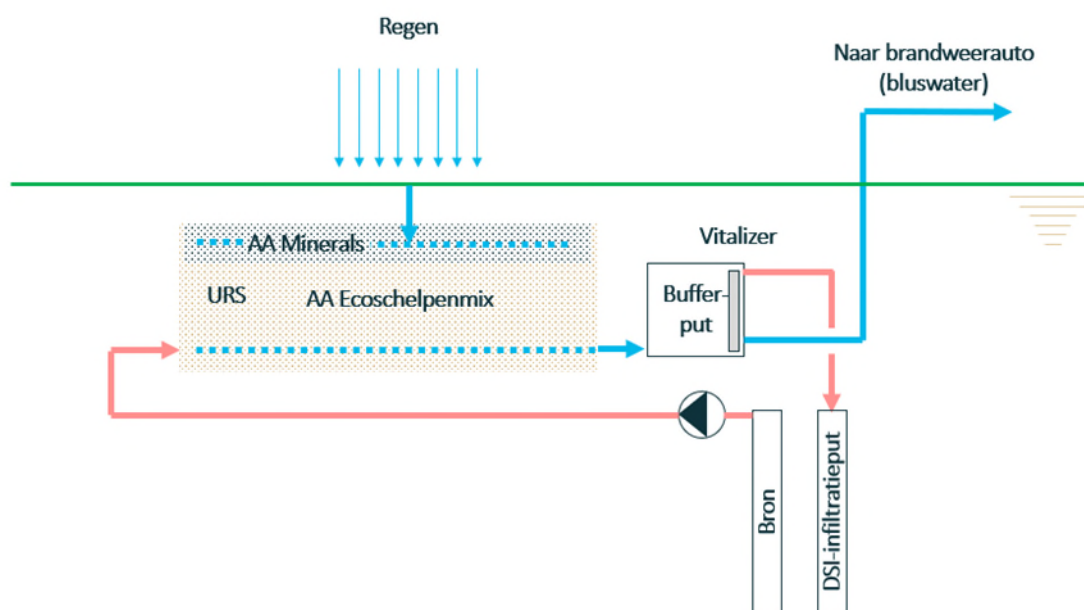
De hoeveelheid regenwater die tijdens de onderzoeksperiode is behandeld, is niet geregistreerd. Op 6 juni 2023 is een doorstroomtest uitgevoerd waarbij de URS eerst werd leeggepompt. Vervolgens is de URS weer gevuld vanuit een bluswagen via de kolk. Hierbij is vastgesteld dat het maximale voedingsdebiet dat de kolk (toevoer van de URS) aankon circa 9 m³/h was. De effluent flow bij het stopzetten van de test was circa 5,6 m³/h (op dat moment was de URS nog niet geheel gevuld). Er vindt dus voldoende doorstroming plaats door deze URS.

Op basis van het afstromend oppervlak naar de URS kan een globale inschatting worden gemaakt van de hoeveelheid water die de URS in totaal verwerkt heeft. Aangesloten zijn 7x3x2 rijen Stelcom platen afwaterend op de molgoot (84 m²), plus het oppervlak van de URS zelf (45 m²) plus een grove inschatting van overtollige m² die uiteindelijk via molgoot richting de kolk dan wel naar het oppervlak van de URS afstromen (gezien lagere ligging) (ca 75 m²). Dit leidt tot een totaal van circa 200 m². Op dit oppervlak valt jaarlijks circa 136 m³ (0,853 m³/m²/jaar x 200 m²) regenwater. In totaal zal de URS, gerekend vanaf aanleg in september 2019 theoretisch circa 540 m³ moeten hebben verwerkt. Hoeveel hiervan daadwerkelijk door de URS is gestroomd is echter niet vastgesteld, omdat er geen debietmeter was geïnstalleerd.

Het ontwerp van de pilot te Wijster is samengevat in Tabel 11 met een schematische weergave in Figuur 12.

Tabel 11: ontwerpgrondslagen pilot te Wijster

| Adres: | Weegbrugweg 2 9418 TS Wijster |
|-------------------------------|--|
| Datum in bedrijf name pilot | september 2019 |
| Ontwerpcapaciteit | 32,5 m ³ bergingscapaciteit (excl. watervoerend pakket) afgestemd op de hoeveelheid voor 1 blusoefening |
| Oppervlak URS | 45 m ² |
| Volume URS mengsel | 40,5 m ³ |
| Minimale levensduur zuivering | 4000 m ³ (alleen betreffende opgeloste verontreinigingen, andere verontreinigingen langer) |
| DSI (infiltratieput) aanwezig | Ja, infiltratie op vrij verval met ca 1 a 2 m ³ per uur |
| Volgorde filter media | Eerst AA Minerals (rond aanvoerverdeeldrain en direct onder de fundering) Daarna AA Ecoschelpenmix (rond afvoerverzameldrain) |



Figuur 12: schematisch dwarsprofiel regenwater pilot te Wijster

De metingen zijn uitgevoerd met opgevangen regenwater van de locatie.

5.1.2 Resultaten

Er zijn analyses verricht aan zowel rechtstreeks opgevangen regenwater als water uit de straatkolk vlak voor het filtersysteem. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12: analyses van hemelwater en water in de straatkolk vlak vóór het filtersysteem

| Parameter | 10/10/2019 | | | 15/10/2019 | |
|-----------------------------|------------|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | eenheid | regenwater | Water in straatkolk | regenwater | Water in straatkolk |
| Troebelheid | FTE | 4,2 | 0,95 | 0,81 | 8 |
| Natrium (Na), na aanzuren | mg/l | 8,86 | 1,95 | 5,06 | 1,64 |
| Kalium (K), na aanzuren | mg/l | 2,69 | 2,12 | 1,33 | 2,29 |
| Calcium (Ca), na aanzuren | mg/l | 27,3 | 10,9 | 24,2 | 5,58 |
| Magnesium (Mg), na aanzuren | mg/l | 1,84 | 0,33 | 1,4 | 0,19 |
| IJzer (Fe), na aanzuren | mg/l | 0,04 | 0,022 | 0,015 | 0,095 |
| Mangaan (Mn), na aanzuren | mg/l | 0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 |

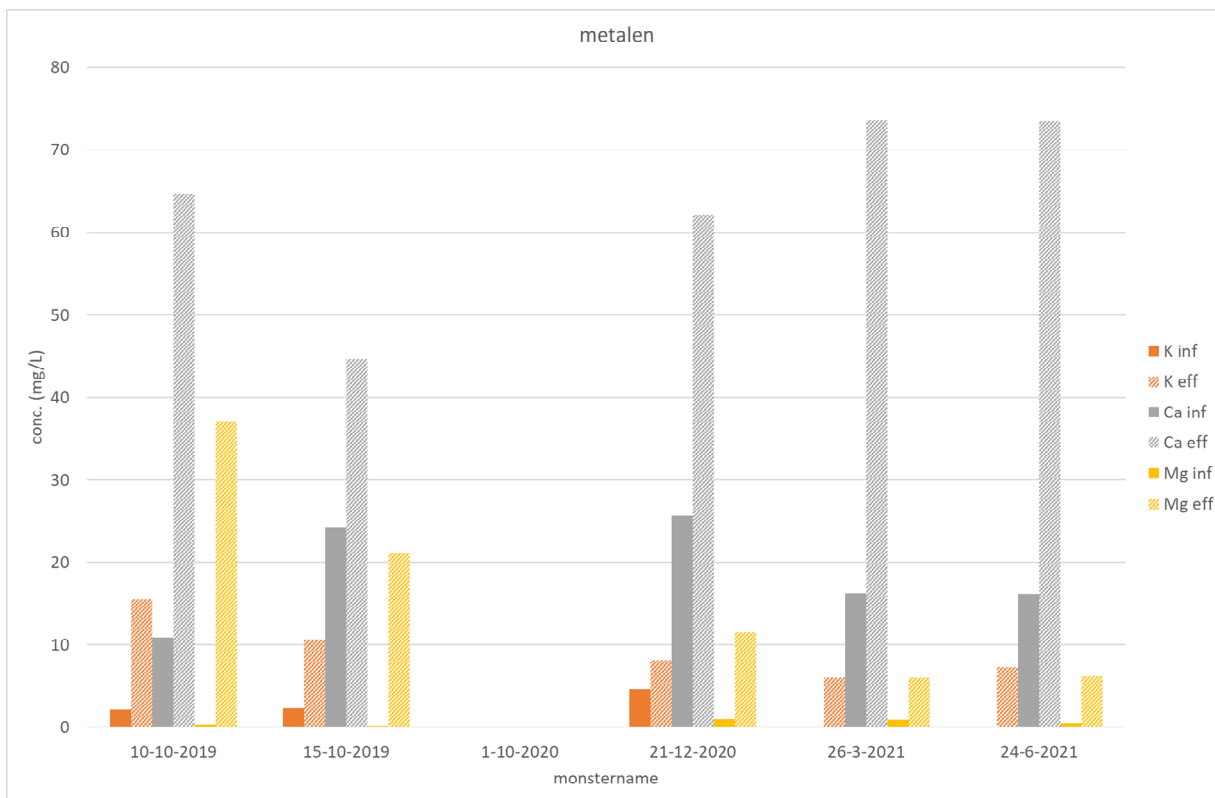
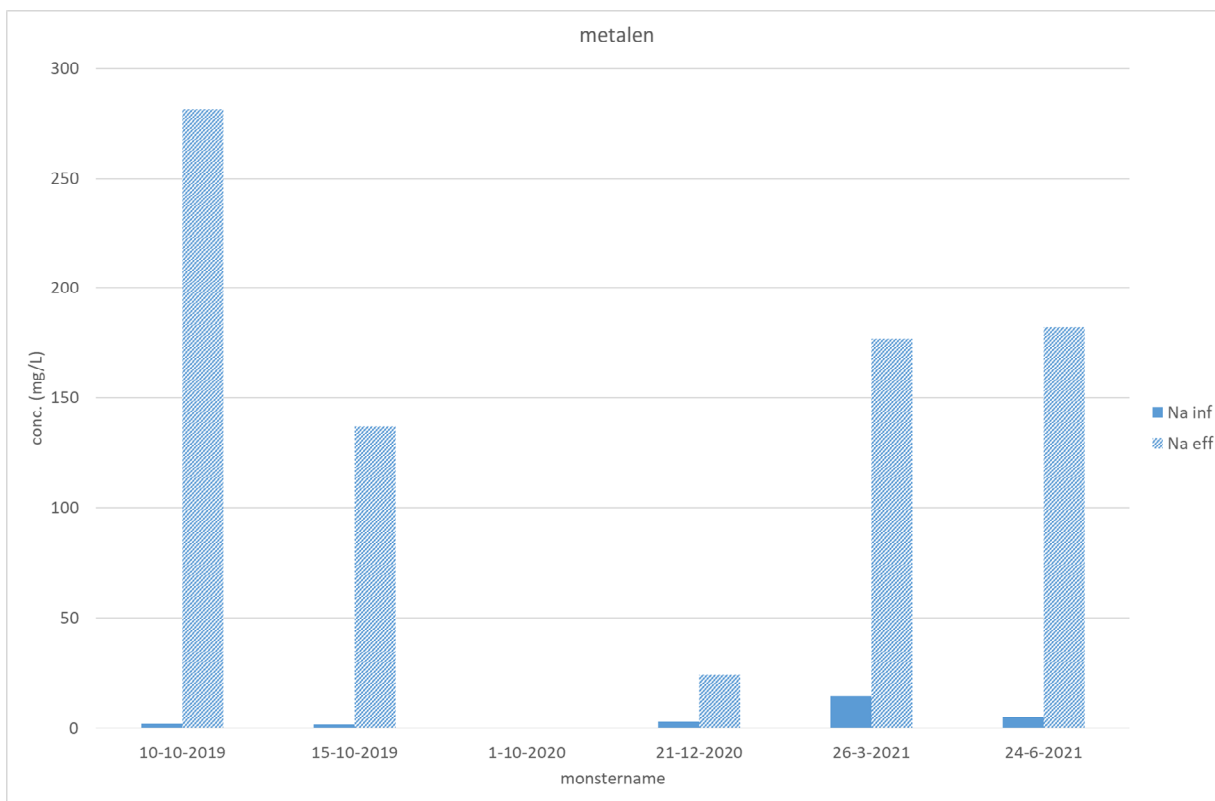
Uit het overzicht in

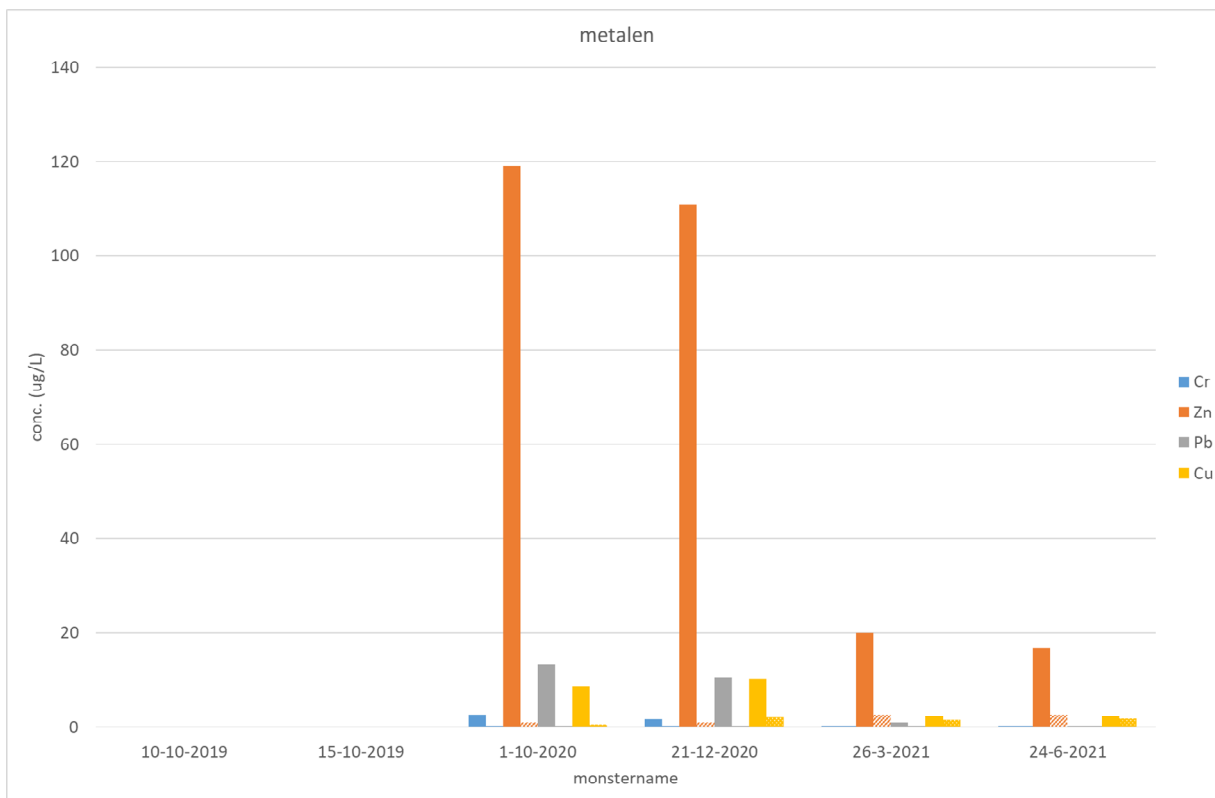
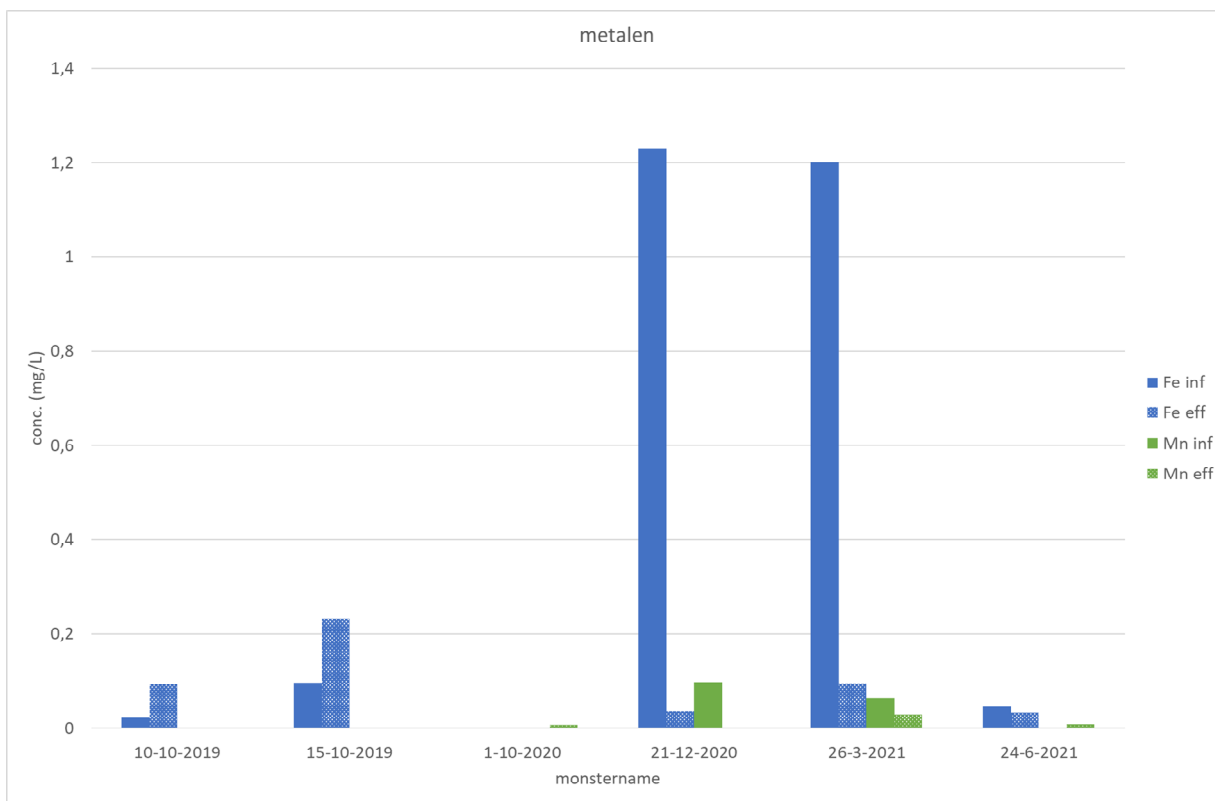
Tabel 12 blijkt dat er minder natrium, calcium en magnesium zit in het water in de straatkolk dan in het water dat rechtstreeks in een emmer werd opgevangen. Dit roept de vraag op of de emmer wel goed schoon was vóór gebruik. Er zijn weinig conclusies te trekken uit deze beide metingen.

De pH lijkt iets te stijgen door passage door het filter (maximaal van 6,6 naar 7,6), maar in de laatste meting werd geen verschil waargenomen. Het filter kan een effect hebben op de temperatuur van het water, doordat de temperatuur in de ondergrond iets anders is dan bovengronds, maar er is geen duidelijke lijn in te herkennen. Het geleidingsvermogen van het water neemt toe, ook nog als het filter een jaar in gebruik is (Figuur 13). Dit is waarschijnlijk te wijten aan het oplossen van zouten in het mengsel c.q. de schelpen in de bufferbak. Dit is in overeenstemming met de toename in het natrium, kalium, calcium en magnesiumgehalte van het water na filterpassage (Figuur 13). Met name in het begin neemt vooral het natriumgehalte sterk toe, wat waarschijnlijk te wijten is aan de aanwezigheid van zeezout in de schelpenbuffer. Voor de toepassing, bluswater, is dit echter geen probleem. Wel blijkt het filter na een aanlooperperiode deeltjes uit het water goed te verwijderen, wat kan worden geconcludeerd uit de in de tijd afnemende troebelheid van het water (Figuur 14). Dit is een voordeel van het systeem.

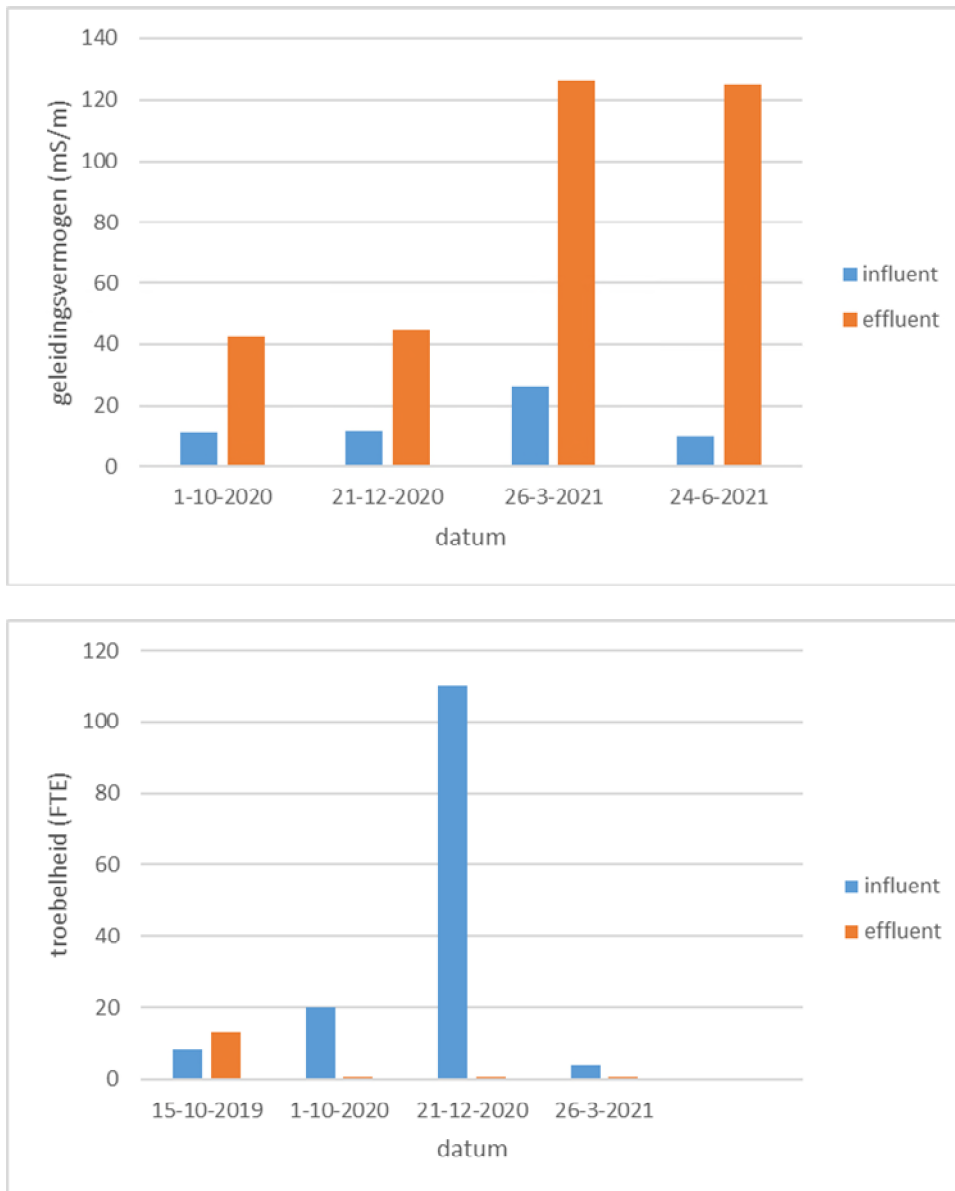
Het ijzergehalte neemt in het begin toe, maar lijkt later door filtratie af te nemen (Figuur 13). Het is echter onduidelijk waardoor de hogere concentraties ijzer in het influent bij de latere metingen veroorzaakt zijn, al geldt in alle gevallen dat de absolute concentraties laag zijn (rond de 1 mg/L). Voor mangaan geldt dat er nauwelijks mangaan in het water kan worden aangetroffen, maar dat het in elk geval wel verwijderd kan worden door het filter.

Zware metalen (Cr, Zn, Pb, en Cu) worden tot onder de analysegrens verwijderd door het filter (Figuur 13), waardoor dit water wat deze parameters betreft aan de eisen voor het infiltratiebesluit voldoet. De relatief hoge concentraties zink in het influent zouden wellicht veroorzaakt kunnen zijn door onderdelen van de opvanginstallatie (zoals leidingen en oppervlakken), maar bij latere metingen is dit verschijnsel niet meer waargenomen.

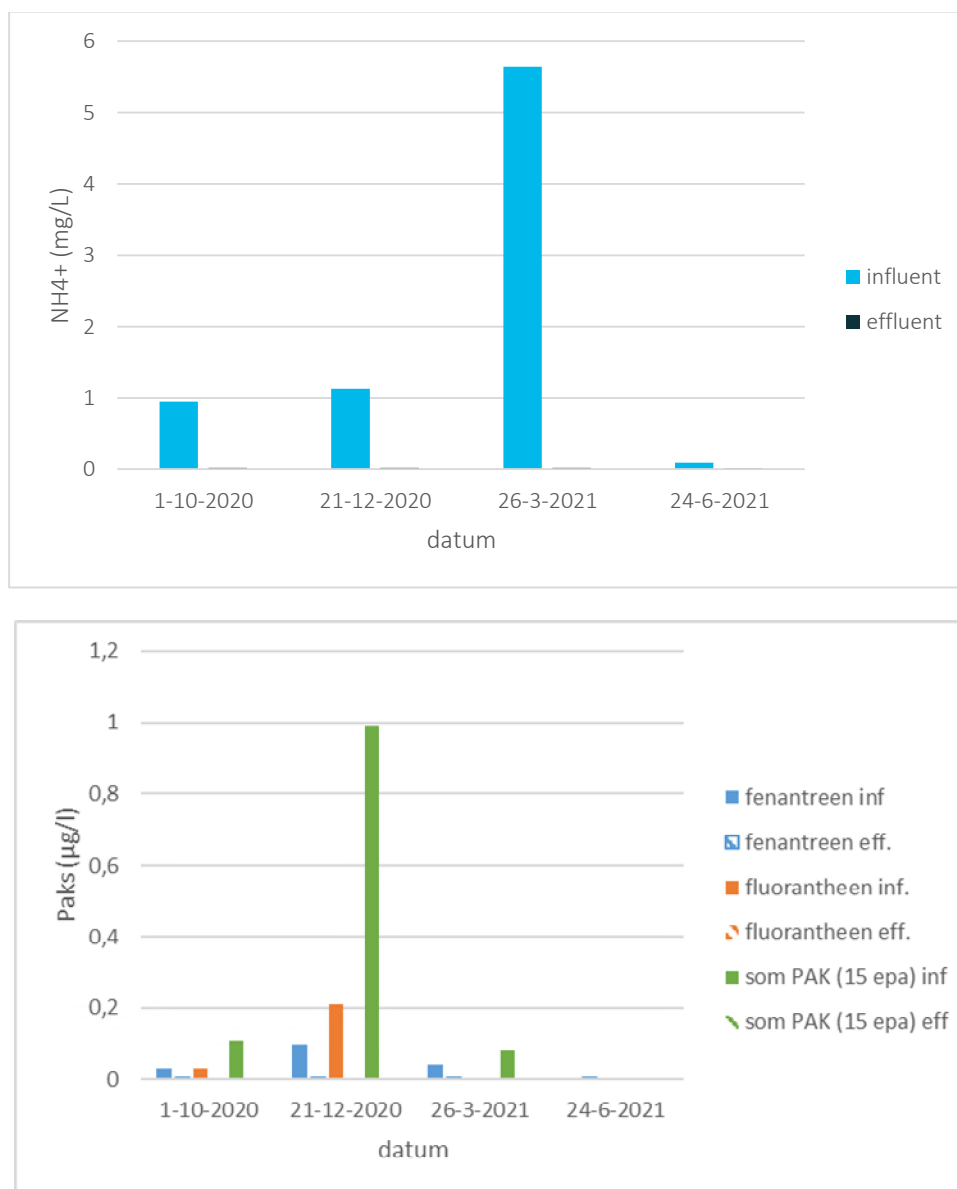




Figuur 13: gehalten aan metalen in het water van Wijster vóór en na filtratie. De gearceerde balken geven het effluent aan.



Figuur 14: geleidbaarheid en troebelheid van het water in Wijster vóór en na filtratie



Figuur 15: gehalten aan ammonium en PAKs in het water in Wijster vóór en na filtratie

Ammonium lijkt goed verwijderd te worden uit het water (Figuur 15).

PAKs worden tot onder de analysegrens verwijderd (Figuur 15). Minerale olie werd op in de straatkolk aangetroffen in concentraties van 53 µg/L (1-10-2020), 80 µg/L (21-12-2020), en 29 µg/L (26-03-2021), Na de URS waren de concentraties gedaald tot onder de rapportagegrens van 25 µg/L. Op basis van deze resultaten kan worden geconcludeerd dat de URS inderdaad minerale olie verwijderd, maar het exacte verwijderingspercentage is hiermee niet nauwkeurig vast te stellen.

In tabel 13 is een overzicht gegeven van de micro-organismen die in het influent en effluent zijn aangetroffen. Het is duidelijk dat het influent vooral coliformen en enterococci bevat, die deels verwijderd worden door de filtratie. Bij een langzame zandfiltratie in de drinkwaterzuivering worden E. Coli voor ongeveer twee tot vier log verwijderd, virussen voor twee log, en parasitaire protozoa meer dan drie log (Schijven et al., 2008). Verwijdering vindt voornamelijk plaats op basis van grootte van de micro-organismen. Dat de verwijdering hier minder hoog lijkt dan bij langzame zandfiltratie komt waarschijnlijk doordat de filterlaag dunner is dan bij een zandfilter in een drinkwaterzuivering. Wellicht zou een dikkere filterlaag een betere desinfectie kunnen geven.

De gehaltenes coliformen en enterococcon zijn te hoog in vergelijking met drinkwater, maar zijn lager dan wat in de normen voor zwemwater wordt genoemd. Doordat er geen tweewekelijkse metingen gedurende drie seizoenen zijn uitgevoerd, kan echter niet worden geconcludeerd dat het water aan de normen voor zwemwater voldoet. Legionella is in geen enkel van de hier genomen monsters waargenomen.

Voor bluswater bestaan geen chemische of microbiologische kwaliteitseisen, maar het water dat door de URS is gefilterd voldoet aan de eisen van het infiltratiebesluit. Het is geen drinkwater, maar dat is ook niet het doel van de waterzuivering hier.

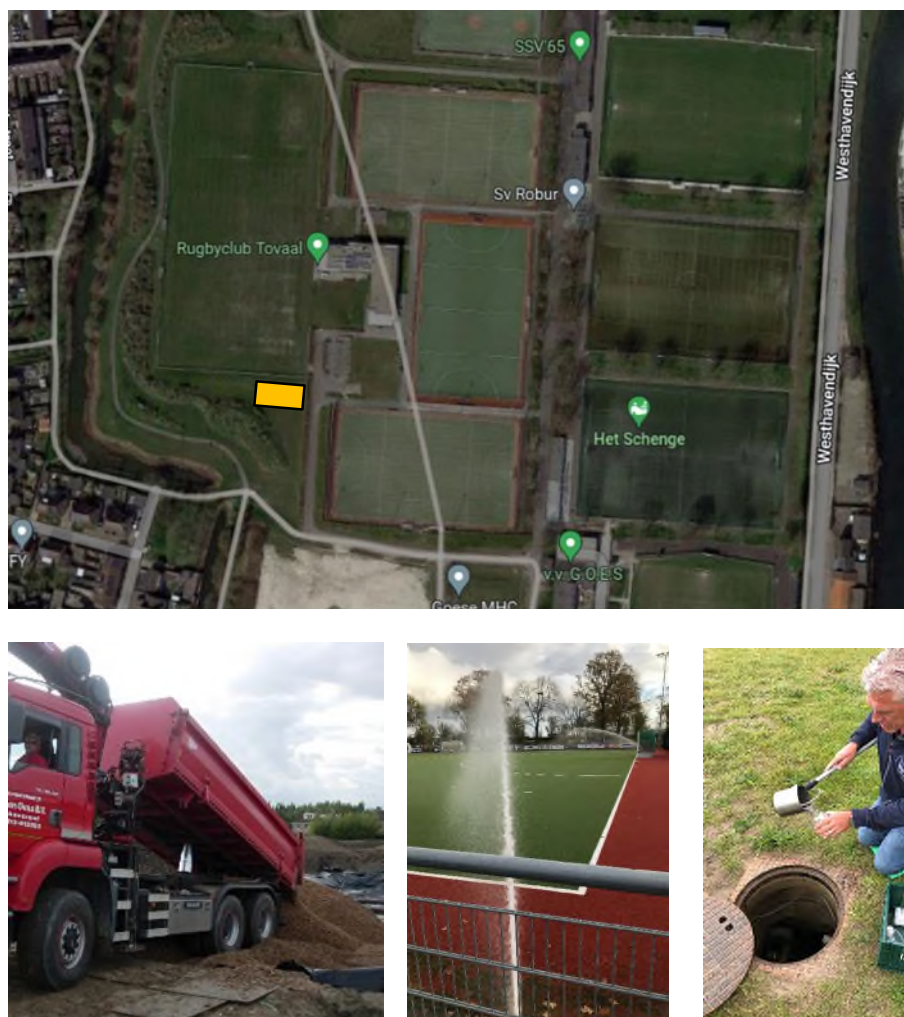
Tabel 13: overzicht micro-organismen

| datum | 15-10-2019 | | 1-10-2020 | | 21-12-2020 | | 26-3-2021 | | 24-6-2021 | |
|---|------------|-------|-----------|-------|------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | Infl. | Effl. | Infl. | Effl. | Infl. | Effl. | Infl. | Effl. | Infl. | Effl. |
| Legionella, Matrix A Procedure 8,9,10 (kve/L) | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 |
| Coliformen 37° C (kve/100 ml) | >300 | 150 | 1 | 6 | 2400 | 27 | <1 | 2 | 300 | 3 |
| Escherichia coli 37 °C (kve/100 ml) | >270 | 30 | 1 | 4 | | 0 | | 0 | NB | 6 |
| Enterococcon 100 ml (kve/100 ml) | | | 6100 | 25 | 1400 | 3 | 15 | 2 | 11 | 6 |

5.2 Hockeyvelden Sportpark Het Schenge in Goes

5.2.1 Experimentele omstandigheden

De URS in Goes is vanaf 2015 in gebruik, veruit het langst van de onderzochte pilots. Het afstromend hemelwater van circa 5 ha sportaccommodatie (velden en verharding) wordt gebruikt om de hockey- en rugbyvelden mee te besproeien. Het afstromende hemelwater stroomt door het filter heen, wordt gespreid over de velden en wordt steeds opgevangen en opnieuw door de URS geleid (reeds gezuiverd water wordt dus ook gerecirculeerd). Indien de URS onvoldoende water bevat, wordt deze aangevuld met drinkwater. Een overzicht van de locatie is weergegeven in Figuur 16.



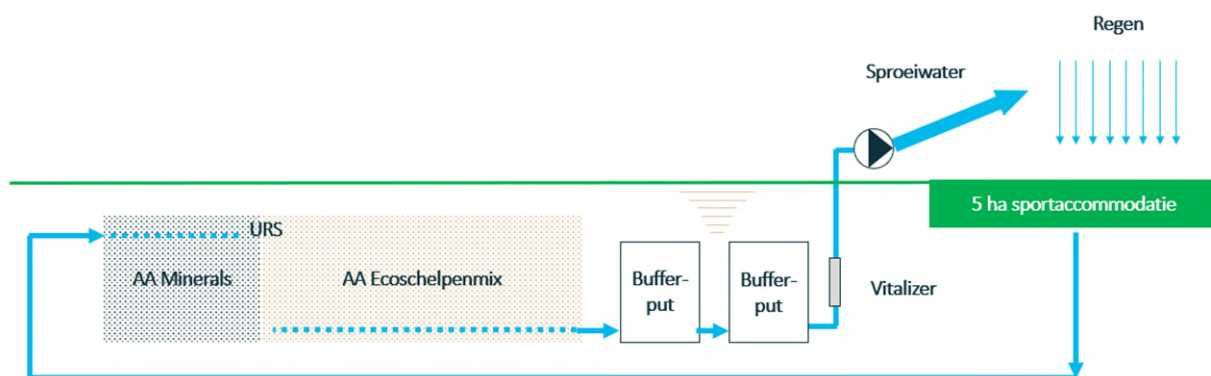
Figuur 16: situatie en foto's van de pilotlocatie in Goes (bron Google Maps), het gele rechthoekje is de locatie van de URS.

In het EMVI bestek van de Gemeente Goes voor de renovatie van het sportcomplex, werd geëist om zoveel mogelijk drinkwater te besparen, omdat zoetwaterbeschikbaarheid onder druk staat i.v.m. verzilting. M.n. bij de beregening van het waterveld wordt veel water gebruikt (12 m³ water per wedstrijd.) Omdat de hiervoor benodigde pompcapaciteit 60 m³ per uur is, is er in dit project voor gekozen om het water eerst te zuiveren m.b.v. AA Minerals, en daarna op te slaan in een groot compartiment met AA Ecoschelpenmix. Op die manier kunnen de twee beregeningsputten weer zeer snel worden aangevuld tijdens een beregeningsbeurt (i.v.m. de zeer hoge k-waarde van de AA Ecoschelpenmix van ca 1200-1300 m/d). Het water wordt vanuit de beregeningsput via een AA OB Massa Schelpkalk vitalizer verpompt via het beregeningssysteem. Het systeem heeft een totale bergingscapaciteit van 180 m³. Ongeveer 70% van het gezuiverde water loopt na beregening terug de URS in. Indien de URS vol is, stort deze op dit moment nog over op het oppervlakte water. Wanneer de URS leeg is, wordt op dit moment drinkwater bijgeschakeld voor beregening. Uit watermeter gegevens is gebleken dat in 2022 in 9 maanden tijd 1.141 m³ behandeld regenwater gebruikt, dat is circa 1.521 m³/jaar. Bij grote droogte wordt drinkwater gesuppleerd in het systeem. Er is een schatting gemaakt van de hoeveelheid drinkwater die in de onderzoeksperiode is toegevoegd. In totaal zou theoretisch 2520 m³ regenwater per jaar gezuiverd worden, waarvan 719 m³ voor beregening van het hockeyveld wordt gebruikt, en 1801 m³ na zuivering op het oppervlaktewater wordt geloosd. Naar schatting wordt er 585 m³ drinkwater aan het systeem toegevoegd (zie ook Bijlage 0).

Het ontwerp van de pilot te Goes is samengevat in Tabel 14 met een schematische weergave in Figuur 17.

Tabel 14: ontwerpgrondslagen pilot te Goes

| | |
|-------------------------------|---|
| Adres: | Geldloozepad 7 4463 AJ Goes |
| Datum in bedrijf name pilot | september 2015 |
| Ontwerpcapaciteit | 180 m ³ waterberging, 60m ³ /h pompcapaciteit voor beregening, 5ha afgekoppeld verhard oppervlak |
| Oppervlak URS | 280 m ² |
| Volume URS Mengsel | 229 m ³ |
| Minimale levensduur zuivering | 40 jaar i.r.t. afgekoppeld verhard oppervlak (alleen betreffende opgeloste verontreinigingen, andere verontreinigingen langer) |
| DSI (infiltratieput) aanwezig | Nee Met de gemeente wordt verkend of aanleg DSI mogelijk en gewenst is, om overtollig water te benutten om verzilting te helpen voorkomen en een extra back up te creëren d.m.v. een zoete bel |
| Volgorde filter media | Eerst AA Minerals (compartiment) Daarna AA Ecoschelpenmix (compartiment). Compartimenten gescheiden door geovlies. |



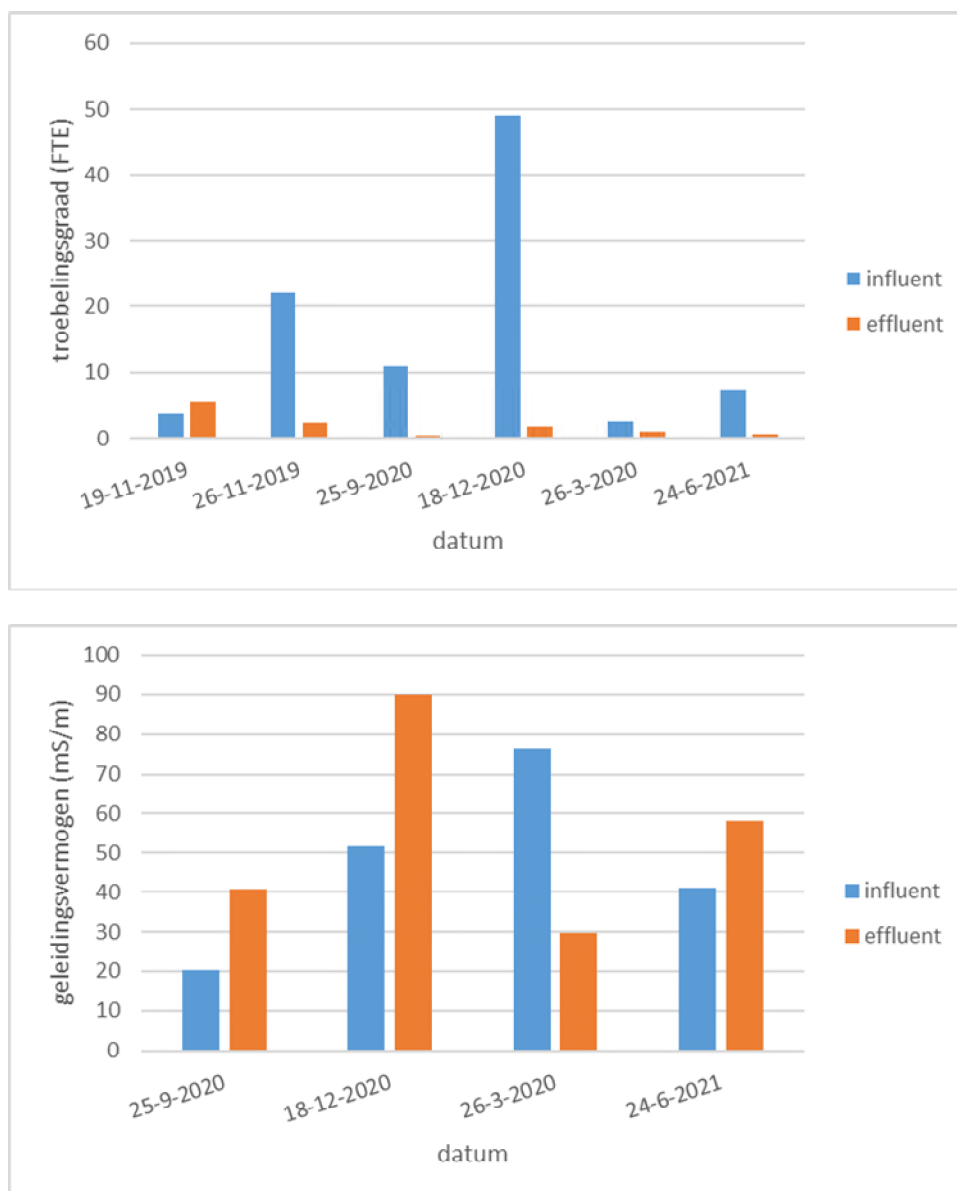
Figuur 17: schematisch dwarsprofiel regenwater pilot te Goes

5.2.2 Resultaten

Metingen zijn uitgevoerd tussen november 2019 en december 2020. Hierbij werden monsters genomen vóór het systeem (mengmonsters van drainwater uit verschillende putjes) en na het filter in de bufferput. Het water uit dit systeem wordt gebruikt voor het regelmatig sproeien van de hockeyvelden, waardoor in dit filter wel doorstroming met water optrad.

De resultaten zijn weergegeven in Figuur 18, Figuur 19 en Tabel 15. De troebelingsgraad neemt in het eerste monster nog toe, maar daarna neemt die na filtratie significant af. Het valt echter wel op de in de eerste metingen, van november 2019, dat de troebelingsgraad sowieso vrij laag was in vergelijking tot de latere metingen.

De pH wordt niet noemenswaardig beïnvloed door filtratie. Hier valt overigens wel op dat de temperatuur na het filter in november 2019 relatief hoog was. In december 2020 was die rond de 10 °C, zoals te verwachten is bij een ondergronds aangebracht filter.



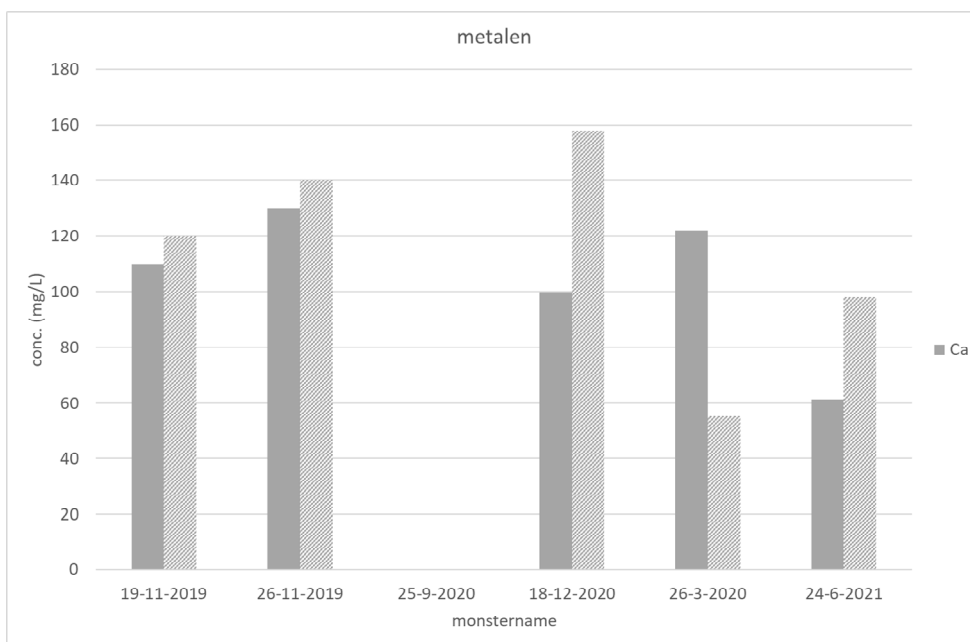
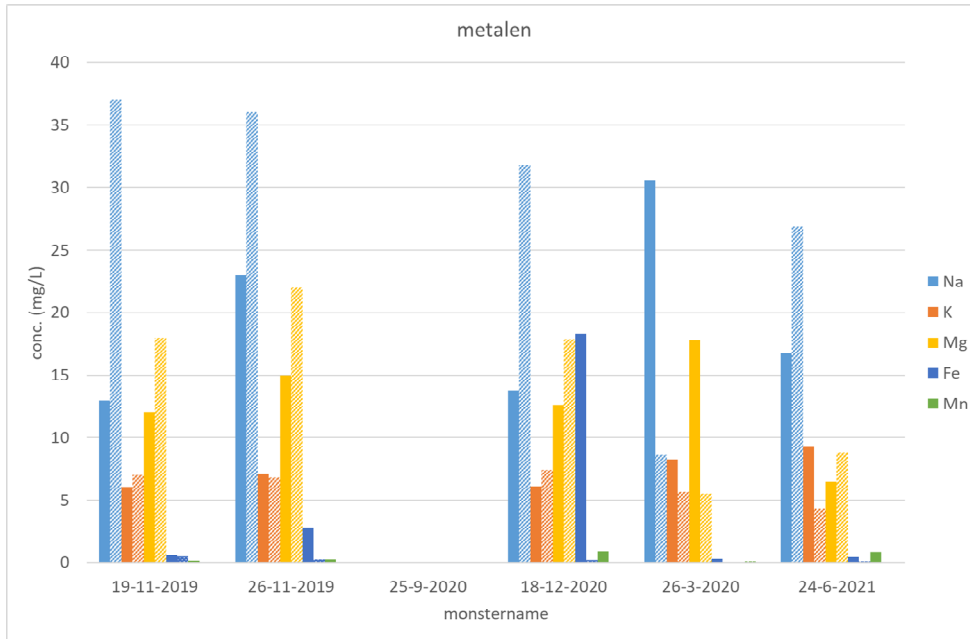
Figuur 18: troebelheid en geleidsbaarheid in het water van Goes vóór en na filtratie

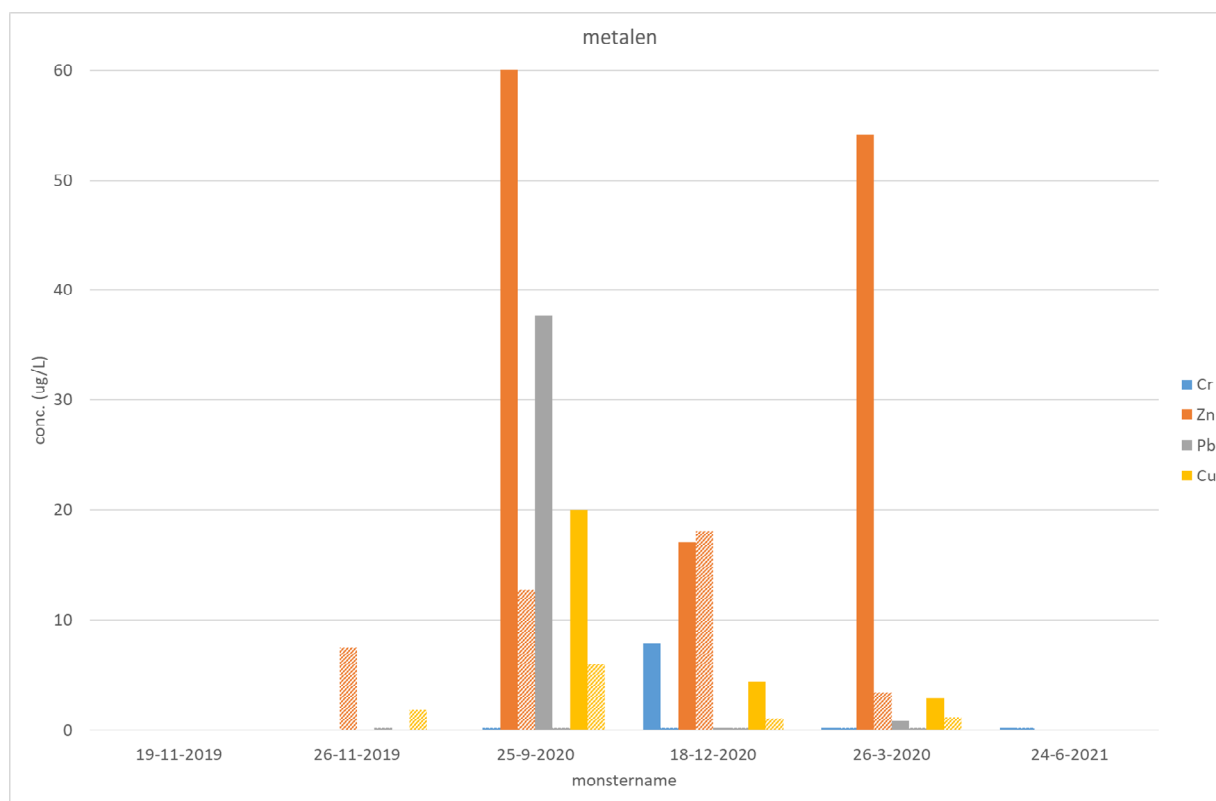
Deeltjes (troebelheid) worden door het filtersysteem goed verwijderd (figuur 18).

Het geleidingsvermogen lijkt door filtratie meestal toe te nemen, wat waarschijnlijk te wijten is aan het oplossen van zouten uit het filtersysteem. Waarom in maart 2020 het geleidbaarheidsvermogen afnam is echter niet duidelijk.

Het kaliumgehalte lijkt niet echt beïnvloed te worden door het filter, maar het natrium-, calcium- en magnesiumgehalte nemen over het algemeen wel toe door filtratie. Dit is grafisch weergegeven in figuur 19. Het natrium- en magnesiumgehalte van het water zijn lager dan wat in Tabel voor irrigatiewater in Vlaanderen als norm wordt gesteld. Dat betekent dat deze waarden geen probleem zullen vormen voor de toepassing op de sportvelden. Het calciumgehalte is wel in de meeste gevallen (iets) hoger dan de 120 mg/L die hierin worden aangegeven als norm. IJzer en mangaan zijn aanwezig in lage concentraties in het influent, maar worden goed verwijderd door het filter. De relatief hoge gehalten aan Pb, Zn en Cu zouden afkomstig kunnen zijn van het materiaal van het opvang- en transportsysteem van het water. De zware metalen lood, zink, koper en chroom (respectievelijk Pb, Zn, Cu en Cr) lijken ook goed verwijderd te worden, waarbij alle waarden onder de irrigatierichtinglijnen (Tabel 5), hoewel die niet specifiek voor sportvelden zijn opgesteld. In vergelijking met het

infiltratiebesluit zijn de gehalten zink en koper in zowel het influent in dezelfde grootteorde (15 µg/L voor koper en 65 µg/L voor zink), maar in het effluent zijn ze beduidend lager (zie figuur 19). Voor ijzer worden geen normen gesteld (Tabel 1). Deze eisen worden echter niet gesteld aan de berekening van sportvelden.





Figuur 19: gehalten aan metalen in het water van Goes vóór (massieve balkjes) en na (gearceerde balkjes) filtratie. Het zinkgehalte van het influent op 25-9-2020 is gemeten als 3150 µg/L. Dit is een onwaarschijnlijk hoge waarde, die dan ook niet meegenomen is in de evaluatie.

De gehalten ammonium (NH_4^+) in het water zijn laag (0,12 – 0,41 mg/L), maar worden tot onder de analysegrens van 0,03 mg/L verwijderd. Verder zijn in Goes, net als in Wijster, soms lage concentraties fenantreen en fluorantheen in het influent aangetroffen (op 18-12-2020 respectievelijk 0,02 en 0,06 µg/L), maar zijn die in het effluent tot onder de rapportagegrens van 0,01 µg/L verwijderd. De gehalten aan PAKs zijn erg laag, dus er is weinig te zeggen over de verwijdering ervan. Deze parameters leveren dan ook geen problemen op in het kader van het infiltratiebesluit of de richtlijnen voor irrigatiewater (Tabel 1 t/m Tabel 3 en Tabel 6).

Het water bevatte tijdens de monsternamencampagnes geen legionella, behalve op 24-06-2021. In dat geval werden deze organismen tot onder de analysegrens verwijderd door het filter. Het desinfecterend vermogen voor legionella is hiermee niet goed in te schatten, omdat het gehalte in het influent 800 kve/L bedroeg, en er dus maximaal 2-3 log verwijderd kon worden aangetoond.

Het influent leek meestal weinig coliformen of enterococcon te bevatten, maar in sommige gevallen werden ze wel aangetroffen. Meestal werden ze door het filter verwijderd, maar in een aantal gevallen lijkt het gehalte in het effluent hoger te zijn dan in het influent. Waarschijnlijk heeft dit te maken met de verblijftijd van het water in het filter, waardoor deze bacteriën afkomstig zijn van eerder opgenomen water, dat dan wel een hoger gehalte aan bacteriën bevatte. Mogelijk voldoet het effluent aan de eisen voor zwembadwater (*E.Coli* < 1000 kve⁴ /100 ml), en intestinale enterococcon < 400 kve/100 ml), maar dat is met deze resultaten niet met zekerheid vast te stellen. Voor irrigatie- en infiltratiewater worden hieraan geen eisen gesteld.

⁴ Kolonievormende eenheden

Tabel 15: overzicht micro-organismen. Voor drinkwater geldt een norm van 0 E. coli/100 ml, 0 intestinale enterococci/100 ml, en 0 kve bacteriën van de coligroep/100 ml. Voor zwemwater (binnenwateren) is de norm voor goede kwaliteit voor E. coli < 1000 en voor enterococci < 400 kve/100 ml (zie ook Tabel 4 en 5), gebaseerd op een 95 percentiel voor tweewekelijkse metingen gedurende drie seizoenen. Voor aanvaardbare zwemwaterkwaliteit geldt dan minder dan 330 kve/100 ml voor enterococci en minder dan 900 kve/100 ml voor E.coli (waarbij wel een 90-percentiel wordt aangehouden in plaats van 95 percentiel voor goede kwaliteit).

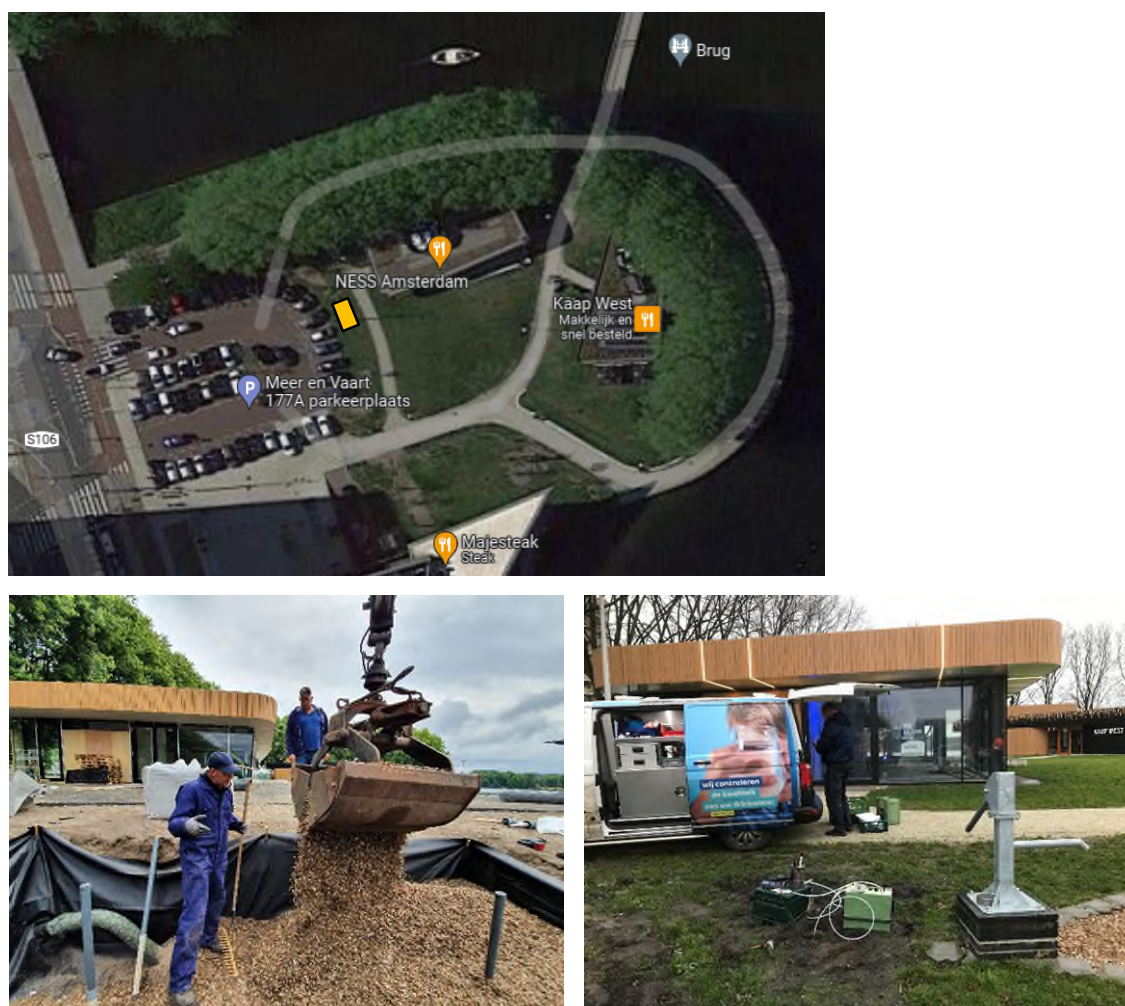
| datum | 19-11-2019 | | 26-11-2019 | | 25-9-2020 | | 18-12-2020 | | 26-3-2020 | | 24-6-2021 | |
|---|------------|-------|------------|-------|-----------|-------|------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | Infl. | Effl. | Infl. | Effl. | Infl. | Effl. | Infl. | Effl. | Infl. | Effl. | Infl. | Effl. |
| Legionella, Matrix A Procedure 8,9,10 (kve/L) | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | 800 | <100 |
| Coliformen 37° C (kve/100 ml) | 2 | 1 | 6 | 0 | 210 | 0 | <1 | 6 | 0,5 | 1 | 2400 | >300 |
| Escherichia coli 37 °C (kve/100 ml) | 1 | 1 | 4 | 0 | 210 | 0 | | 0 | | 0 | | >150 |
| Enterococci 100 ml (kve/100 ml) | | | | | >300 | 0 | 0 | 4 | 140 | 0 | 38 | >300 |

Uit deze data kan niet worden geconcludeerd dat het effluent voldoet aan de normen voor zwemwater, doordat slechts incidentele metingen zijn gedaan en niet specifiek naar E. coli is gekeken. E. coli maakt deel uit van de coliformen, waardoor het gehalte (veel) lager kan zijn dan het gehalte coliformen. Op grond van deze metingen kan alleen worden geconcludeerd dat het risico bestaat dat het effluent niet aan de normen van zwemwater voldoet. Voor het sproeien van sportvelden zal dit geen probleem zijn, maar het is aan te raden er een bordje 'geen drinkwater' bij te hangen.

5.3 Speelwater Landtong Nieuw West, Amsterdam

5.3.1 Experimentele omstandigheden

In Amsterdam betreft het een pilot waarbij afstromend hemelwater van een parkeerterrein via een straatkolk wordt verzameld, en gebufferd en gefiltreerd wordt in een mini-URS. Na behandeling wordt het water gebruikt als speelwater en het overstortende gezuiverde water wordt geloosd op een HWA (hemelwaterafvoer). Een overzicht van de locatie is weergegeven in Figuur 20.



Figuur 20: situatie en foto's van de pilotlocatie in Amsterdam (bron Google Maps), het gele rechthoekje is de locatie van de URS.

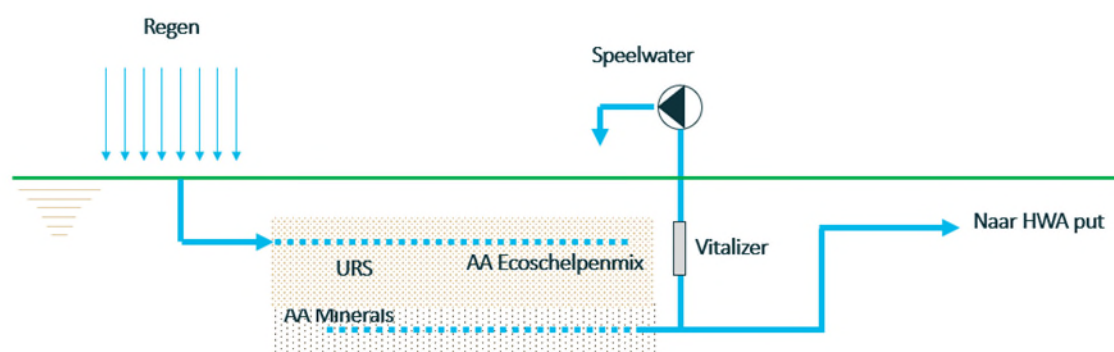
In deze pilot wordt hemelwater na zuivering ingezet als speelwater. In dit geval wordt instromend water eerst via de aanvoerdrain in de AA Ecoschelpenmix gebufferd (in verband met de hoge k-waarde), omdat de pilot ook is bedoeld om te laten zien hoe het systeem kan bijdragen aan het voorkomen van water op straat bij hevige buien (als extra bergingsvoorziening, met zuiverend vermogen). Het speelwater dat wordt gebruikt wordt aangezogen uit de afvoerdrain met een handpomp. De afvoerdrain is omhuld met AA Minerals, zodat het water dat wordt aangezogen altijd wordt gezuiverd. Indien de URS vol is, stroomt deze via de afvoerdrain door naar het HWA, waardoor de zuiveringscapaciteit extra wordt belast, zodat kan worden gemonitord wanneer de levensduur van zuiveringscapaciteit van deze mini-URS verloopt. De AA Ecoschelpenmix komen in deze pilot als speelelement aan de oppervlakte, waardoor het systeem geen aparte ontluuchtingsdrain nodig heeft.

Op 8 september 2023 heeft Waternet vastgesteld dat de straatkolk (=voeding URS) een volumestroom van circa 20 m³/uur kan verwerken. Visueel is gecontroleerd dat dit water, na passeren van de URS, doorstroomde naar de regenwater afvoerput. Het naar de kolk afstromende verharde oppervlak is circa 50 m² (schatting Waternet), zodat vanaf september 2020 theoretisch circa 127 m³ (0,853 m³/m² jaar x 50 m² x 3 jaar) regenwater aan de URS is aangeboden. Tijdens de proefperiode is de handpomp nog niet in werking gesteld, dus is er geen water gebruikt als speelwater.

Het overzicht van de pilot te Amsterdam is samengevat in Tabel 16 met een schematische weergave in Figuur 21.

Tabel 16: ontwerpgrondslagen pilot te Amsterdam

| | |
|-------------------------------|--|
| Adres: | Meer En Vaart 177 1068 LA Amsterdam |
| Datum in bedrijf name pilot | september 2020 |
| Ontwerpcapaciteit | Ca 6,3 m ³ waterberging, aangesloten op één kolk (ca 50 m ² verhard oppervlak) |
| Minimale levensduur zuivering | Minimaal 2000 m ³ (alleen betreffende opgeloste verontreinigingen, andere verontreinigingen langer) |
| Oppervlak URS | 10 m ² |
| Volume URS mengsel | 10 m ³ |
| DSI (infiltratieput) aanwezig | nee |
| Volgorde filter media | Eerst AA Ecoschelpenmix rondom aanvoer verdeeldrain Daarna AA Minerals rondom afvoer verzameldrain |



Figuur 21: schematisch dwarsprofiel regenwater pilot te Amsterdam

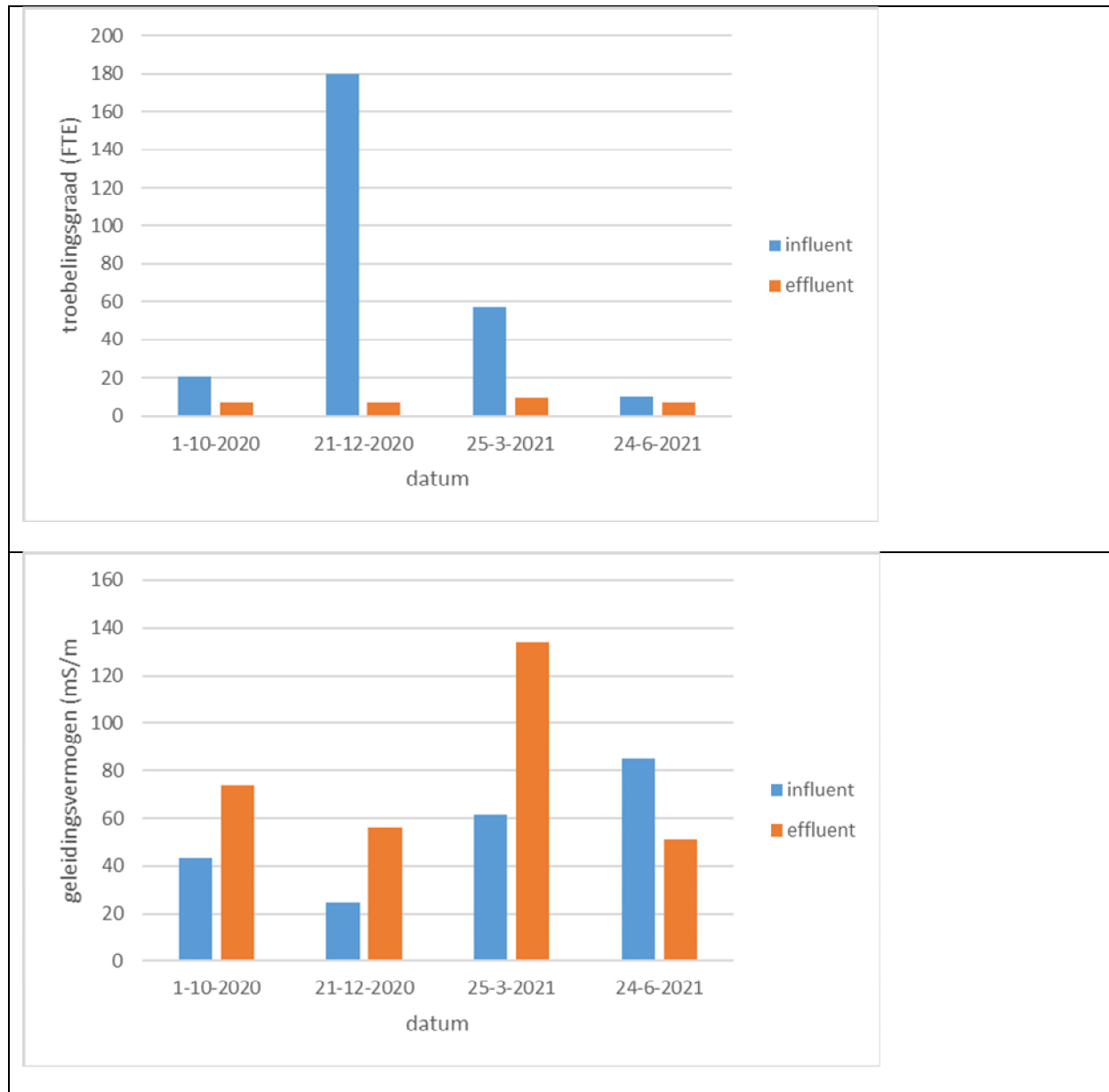
Bij monsterneming brengt de monsternemer een slangetje in de buis om het water op te zuigen. Het is niet bekend hoe diep dit slangetje in de buis werd gebracht. Om te voorkomen dat lucht wordt aangezogen, zal het slangetje vrij diep in de buis zijn gestoken, wat dicht in de buurt van de bodem of bij het T-stuk kan zijn geweest. Het is mogelijk dat het bemonsterde water dus afkomstig is uit de horizontale leiding of de buffer. Bij monsterneming is telkens een nieuw slangetje gebruikt.

5.3.2 Resultaten

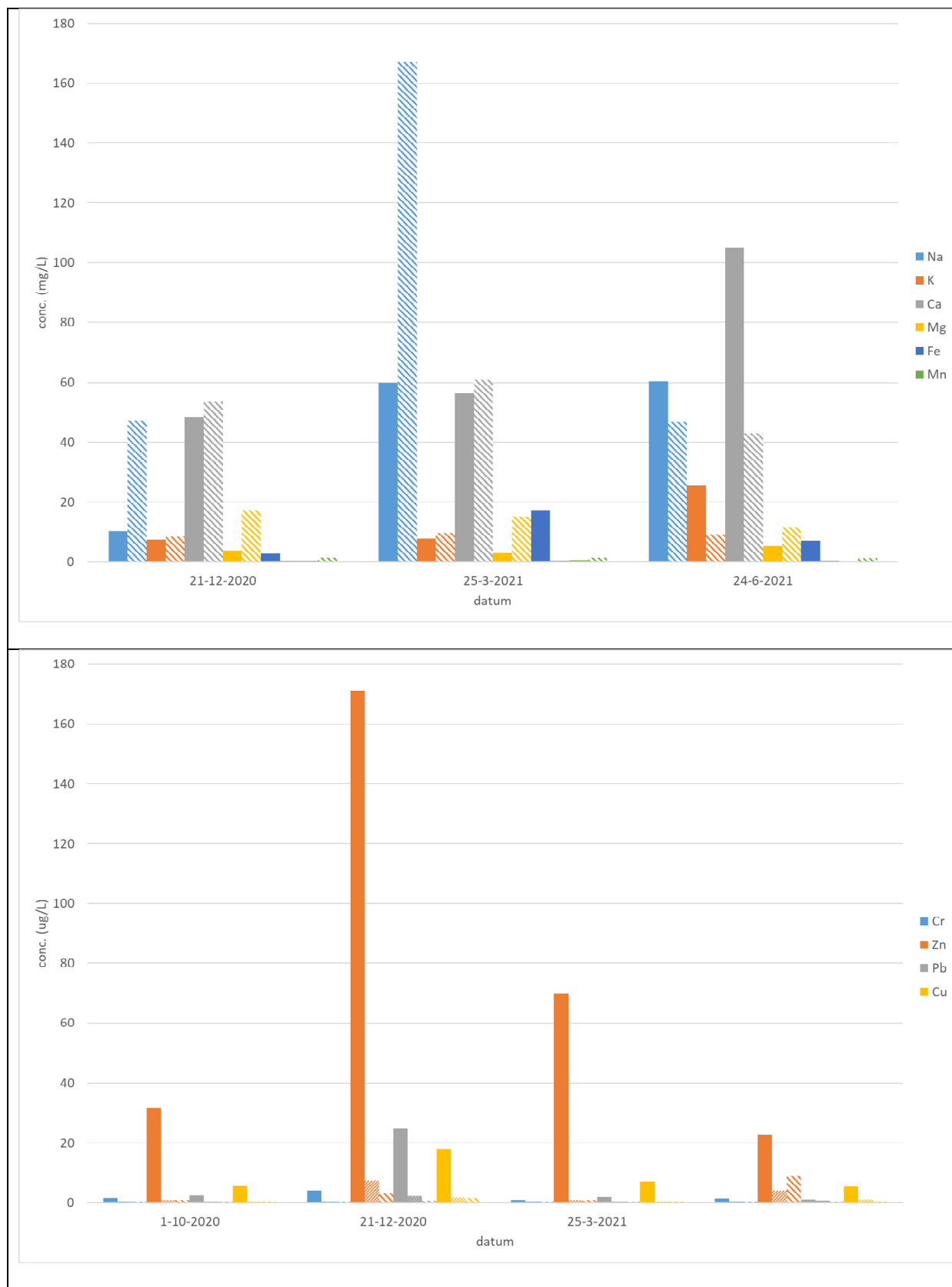
Tijdens de monsternamingscampagnes van oktober en december 2020 werd water bemonsterd in de straatkolk en na passage van het filter. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 22.

De troebelingsgraad van het water vóór en na filtratie is weergegeven in figuur 23. Net als bij de andere pilots, is het systeem in staat het grootste deel van de troebelheid te verwijderen. De troebelheid van het influent was op 21 december 2020 erg hoog, wat werd veroorzaakt doordat er water terugliep in het monsterpunt, en er dus waarschijnlijk modder/zand meekwam. De geleidbaarheid van het water neemt wel toe, wat te wijten is aan het oplossen van zouten uit de schelpen en mogelijk de schelpen zelf. Dit komt tot uiting in de gehalten natrium, magnesium en calcium in het effluent, die duidelijk zijn toegenomen ten opzichte van de concentraties in het influent (zie figuur 23). Het ijzergehalte neemt juist af door filtratie door het systeem. Het influent bevat relatief veel zink en kleine hoeveelheden koper en lood, die door het systeem eveneens worden verwijderd. Waarschijnlijk zijn deze metalen afkomstig van de parkeerplaats of leidingwerk dat is gebruikt om regenwater van bijvoorbeeld

daken af te voeren. Hiervoor worden vaak dergelijke metalen gebruikt. Door de goede verwijdering voldoet het uitstromende water van de URS echter aan het infiltratiebesluit.

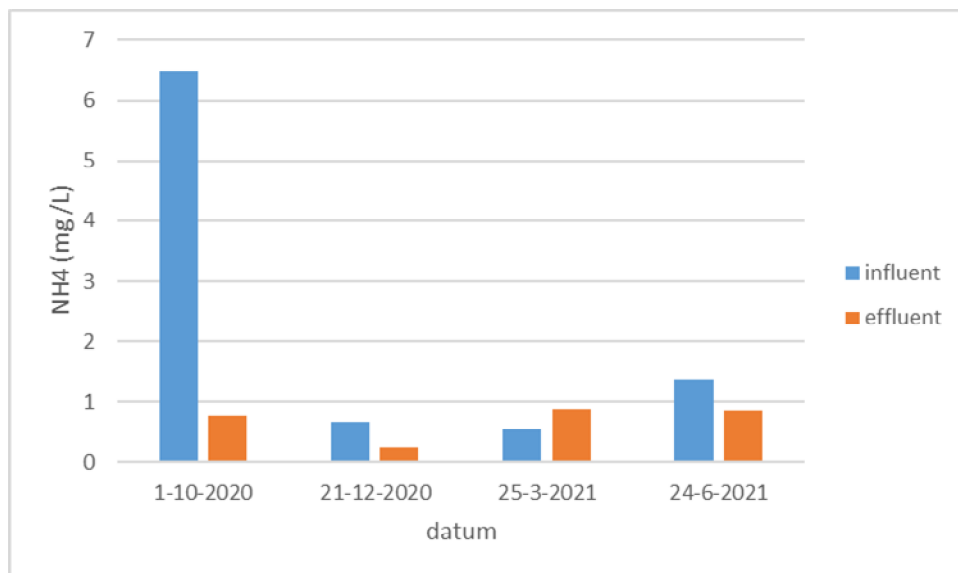


Figuur 22: troebelingsgraad (boven) en geleidingsvermogen (beneden) van het water in Amsterdam, vóór en na filtratie



Figuur 23: gehalten aan metalen in het water in Amsterdam, vóór (massieve balkjes) en na (gearceerde balkjes) filtratie

Het ammoniumgehalte (figuur 24) neemt af door de filtratie, in veel gevallen tot onder de analysegrens. In de richtlijnen voor irrigatiewater en voor infiltratiewater worden geen normen voor ammonium aangegeven, dus dit mag geen probleem opleveren. Ook voor speelwater worden geen problemen verwacht hiermee.



Figuur 24: gehalte ammonium in het water in Amsterdam vóór en na filtratie

Het gehalte aan PAKs bleek in het influent in de regel $< 1 \mu\text{g/L}$ te zijn, maar er is een uitschieter van $4,9 \mu\text{g/L}$ gemeten. Alle PAKs werden bijna altijd tot onder de analysegrens ($0,01 \mu\text{g/L}$) verwijderd. Het water bleek ook regelmatig minerale olie te bevatten ($\leq 170 \mu\text{g/L}$), die echter ook tot onder de analysegrens van $25 \mu\text{g/L}$ verwijderd werd. Beide parameters komen niet voor in de irrigatierichtlijnen (Tabel) maar wel in het infiltratiebesluit (tabel 1 t/m tabel 3). Het water voldoet na de URS aan het infiltratiebesluit. Specifiek voor speelwater zijn er geen richtlijnen. Voor alle toepassingen, en dus zeker ook voor de toepassing als speelwater is het gunstig dat PAKs en minerale oliën goed worden verwijderd.

De aanwezigheid van micro-organismen is beschreven in Tabel 17.

Tabel 17: gehalten aan micro-organismen in het water van Amsterdam, vóór en na filtratie

| datum | 1-10-2020 | | 21-12-2020 | | 25-3-2021 | | 24-6-2021 | |
|---|-----------|----------|------------|----------|------------|----------|-----------|----------|
| | influent | effluent | influent | effluent | influent | effluent | influent | effluent |
| Legionella, Matrix A Procedure 8,9,10 (kve/L) | <100 | <120 | <100 | <100 | aangetoond | 2200 | <500 | 4600 |
| Coliformen 37° C (kve/100 ml) | >270 | 48 | >30000 | | 300 | 4 | >300 | 3000 |
| Escherichia coli 37 °C (kve/100 ml) | 0 | 14 | | | | 0 | >210 | NB |
| Enterococcen 100 ml (kve/100 ml) | >30000 | 5 | 16000 | | 1 | 0 | >300 | 300 |

Het influent bevatte één keer legionella, maar in het effluent is het twee keer in een significante concentratie aangetoond. Aangezien slechts uit enkele monsters een indicatie wordt gekregen van legionellagroei, kan geen harde conclusie worden getrokken over de veiligheid van het systeem, indien er bij het gebruik sprake zou zijn van de mogelijke vorming van aerosolen. Het is op grond van deze resultaten niet vast te stellen wat de oorzaak van deze groei is geweest.

De mogelijke aanwezigheid van legionella in het water is zeker een aandachtspunt, want het betekent dat voorkomen moet worden dat er aerosolen gevormd kunnen worden. Het systeem bevat nu geen fonteintje, maar bijvoorbeeld ook bij het gebruik van waterpistooltjes kunnen aerosolen gevormd worden. Risico's kunnen worden verkleind door het ontwerp hierop aan te passen. Het wordt aangeraden om een risicobeheersplan voor het gebruik van dit speelwater te maken, zodat ook in de toekomst duidelijk is welke toepassingen wel en niet mogelijk zijn (tenzij aanvullende maatregelen worden genomen om legionellagroei te voorkomen, zoals nazuivering met UV-desinfectie of diepte-infiltratie).

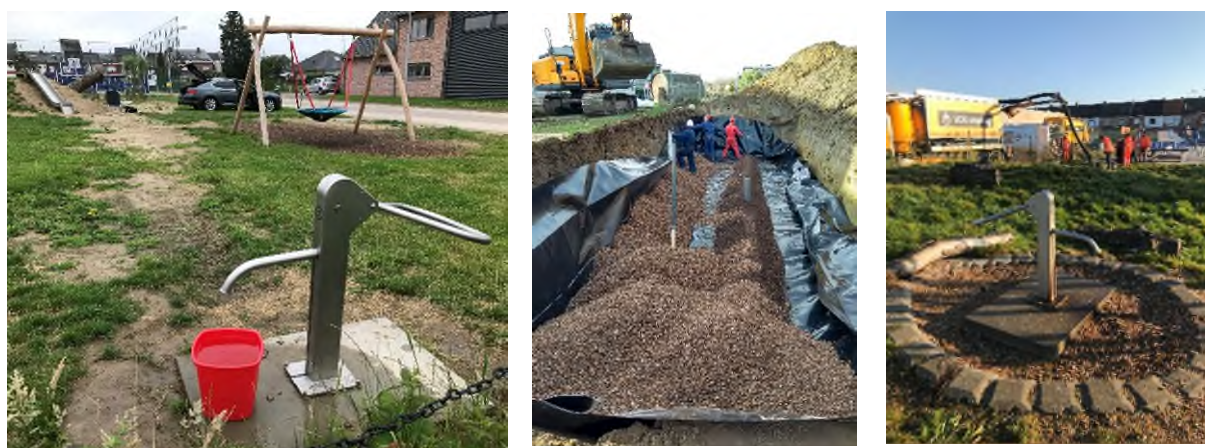
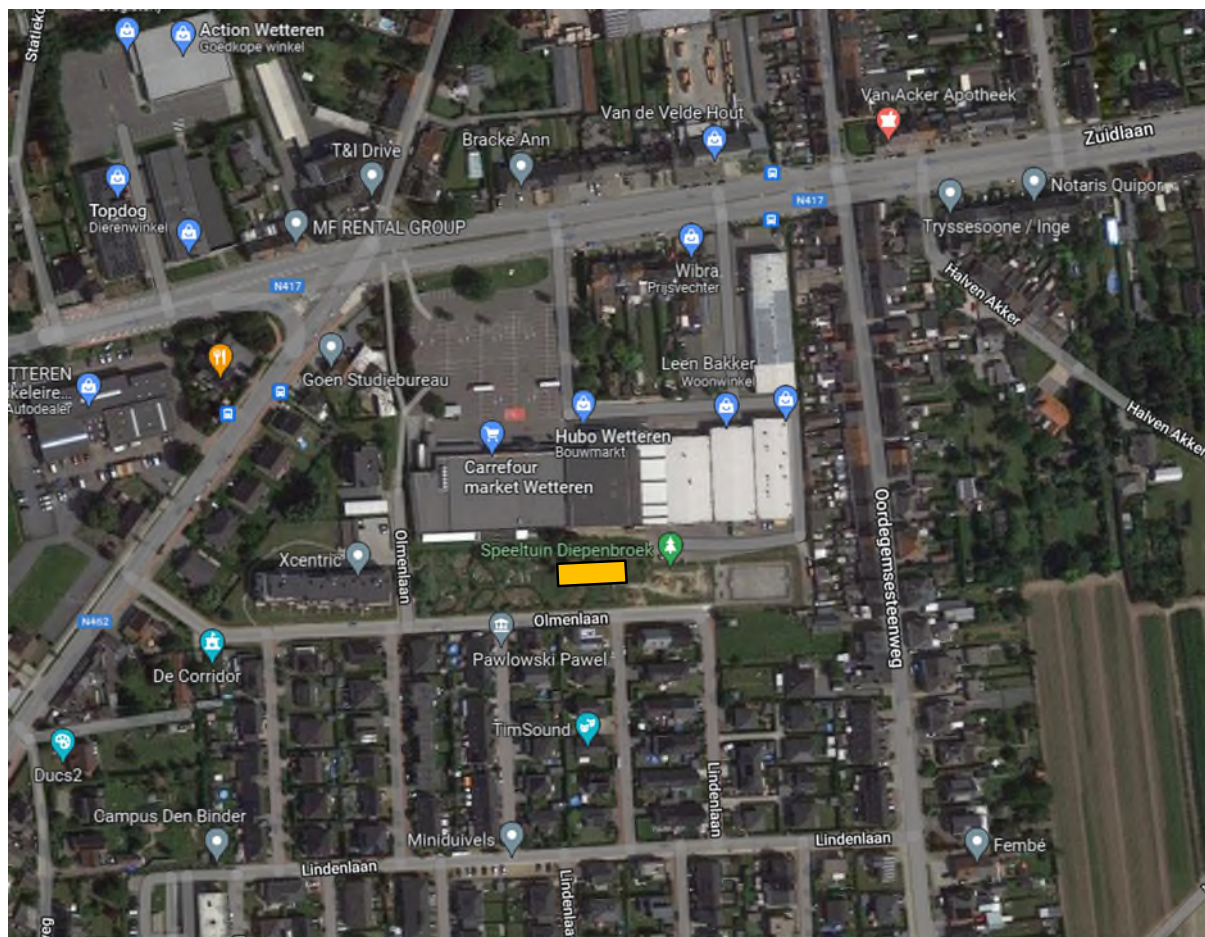
Het water voldoet in elk geval niet aan de eisen die aan drinkwater worden gesteld. Coliformen werden aangetroffen in het influent, maar het lijkt erop dat de normen voor zwemwater (E.coli < 1000 kve/100 mL) zouden kunnen worden gehaald in het effluent van het filter. Datzelfde geldt voor enterococcen, die in deze meetcampagnes niet boven de grens van 400 kve/100 ml uitkwamen. Omdat echter geen grote dataset (tweewekelijkse metingen in drie seizoenen) beschikbaar is en er coliformen maar niet specifiek E.coli (die een onderdeel vormen van coliformen) zijn gemeten, kan niet met zekerheid worden vastgesteld of het effluent aan de eisen voor zwemwater voldoet.

5.4 Speelwater en sproeiwater in Weteren (B)

5.4.1 Experimentele omstandigheden in Weteren

De meest uitgebreide meetcampagne in dit onderzoek vond plaats in Weteren.

In Wetteren bevindt zich een URS die wordt gebruikt om regenwater dat afkomstig is van winkeldaken en het verharde oppervlak van een winkelcentrum te bufferen en behandelen. Dit gezuiverde water wordt gebruikt als speelwater en voor het bewateren van volkstuinjes. Een overzicht van de locatie is weergegeven in Figuur 25.



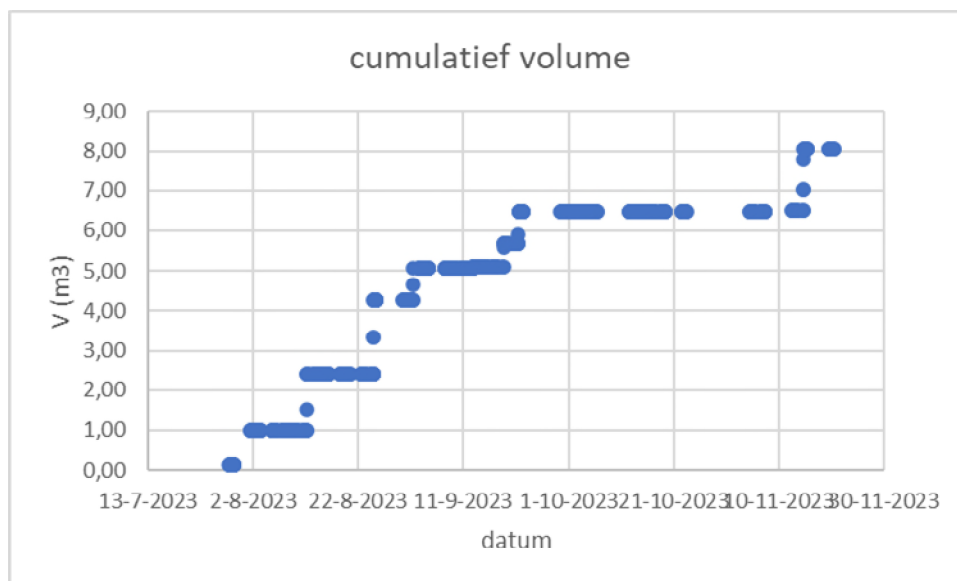
Figuur 25: situatie en foto's van de pilotlocatie in Wetteren (bron Google Maps), de gele rechthoek is de locatie van de URS.

De URS wordt gevoed via een HWA-leiding die al het afstromende hemelwater van 3500 m² winkelcentrum naar een bezinkput leidt. Vanuit de bezinkput wordt de URS via een bypass leiding gevoed. Indien de URS vol is (in natte periodes), dan stroomde in het oorspronkelijke systeem overtollig (ongezuiverd) water over vanuit de bezinkput en een licht verhoogde overstortleiding, via een infiltrerende wadi terug op het HWA-stelsel. In drogere tijden werd dus bij regenval eerst de URS gevoed. In dit geval wordt instromend water eerst via de aanvoer verdeeldrain in de

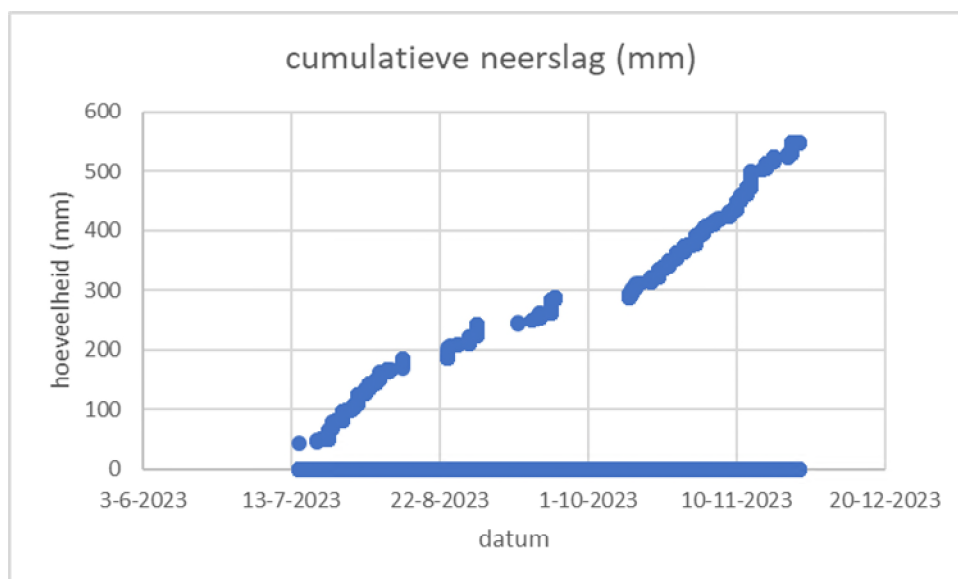
AA Ecoschelpenmix gebufferd (i.v.m. de hoge k-waarde), omdat de pilot ook is bedoeld om te laten zien hoe het systeem kan bijdragen aan het voorkomen van water op straat bij hevige buien (als extra bergingsvoorziening, met zuiverend vermogen). Het gezuiverde water wordt aangezogen uit de afvoer verzameldrain met twee handpompen (voor speelwater en voor de beregening van volkstuinen). Het water dat wordt gebruikt als speelwater wordt gerecirculeerd over de URS.

Bij dit systeem loopt het filter vol met water, maar daarna pas leeg op het moment dat er water wordt afgetapt. Dat betekent dat de verblijftijd in het filter erg lang (weken) kan zijn, en dat niet veel water via dit systeem zal kunnen afstromen als er niet voldoende water wordt afgetapt. De pilot is voorzien van volumestroommeters in de toevoerleiding en de afvoerleiding naar de handpomp in de volkstuin. Uit watermeter gegevens is gebleken dat in de onderzoeksperiode circa 140 m³ regenwater met de URS behandeld is (2 maal leegpompen in april en mei 2021 en 10 m³ verbruik). Er is niet gemeten hoeveel water is gebruikt voor de volkstuinen en hoeveel speelwater is gecirculeerd (als bestaat het vermoeden dat dit in totaal niet heel veel is geweest vanwege de natte zomer). Het kan dan ook niet vastgesteld worden hoeveel extra water er door de URS is gestroomd door deze toepassingen. Dit heeft wel geresulteerd in een lange verblijftijd.

Gedurende het onderzoek is het systeem voor onderzoeksdoelstellingen aangepast (om te beoordelen hoe het functioneert bij meer doorstroming dan in het oorspronkelijke ontwerp bedoeld was). Er is een overstort geïnstalleerd op de afvoer verzameldrain, die overtollig water bij den volle URS na zuivering terug leidt naar de wadi. Op de overstortleiding is een extra, op afstand uitleesbare, debietmeter geplaatst. In figuur 26 is het cumulatief volume dat het systeem heeft doorstroomd weergegeven. Hieruit is te zien dat dat er in de periode van juli t/m november 2023 ongeveer 8 m³ water via de overstort door het systeem is gestroomd. Dit is afgezien van het speelwater, dat echter gerecirculeerd wordt via de schelpen, en beregening van de volkstuinen. Het is niet uit te sluiten dat er water uit mee is genomen, maar die hoeveelheid is niet gemeten (al bestaat het vermoeden dat dit niet om een grote hoeveelheid ging, gezien de natte zomer). In figuur 27 is de hoeveelheid neerslag weergegeven die er in die periode is gevallen. Dit gaat om ongeveer 548 mm. Dit betekent dat er in totaal op het dak van het winkelcentrum ongeveer 1920 m³ water is gevallen. Helaas is het oorspronkelijke hydraulisch ontwerp, gericht op een beperkt gebruik van circa 100 m³ per jaar, onvoldoende geschikt om al het regenwater van het winkelcentrum te verwerken. Het overstortniveau in de bezinkput voor de wadi is te laag en de diameter van de aanvoerleiding naar de aanvoerverdeeldrain in de URS is te klein. De weerstand is daardoor te groot, waardoor het meeste water via de bypass voor de URS langs stroomt. Hierdoor is het niet gelukt om deze pilot beter te benutten om inzicht te krijgen in de zuivering van grotere hoeveelheden bij een kortere verblijftijd. Helaas was het gedurende de onderzoeksperiode niet mogelijk om het systeem hiervoor aan te passen.



Figuur 26: cumulatief volume door het systeem tussen juli en november 2023. Dit is exclusief het speelwater, dat echter over het systeem gerecirculeerd wordt.

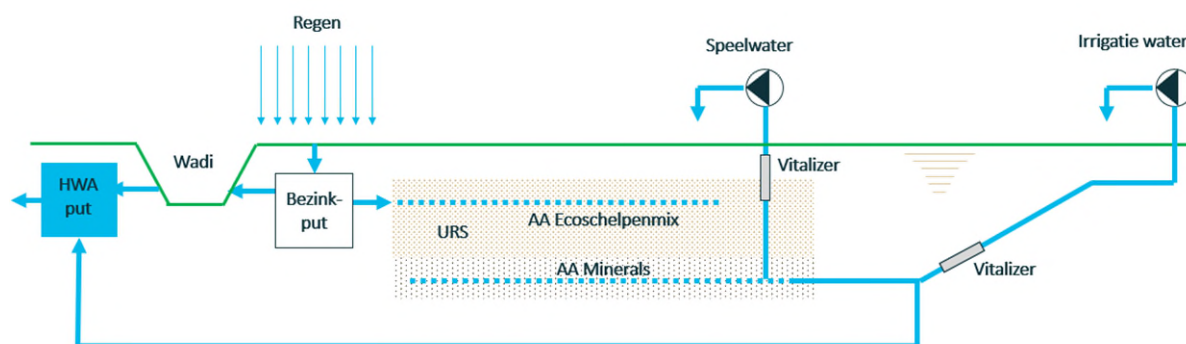


Figuur 27: cumulatieve neerslag op het dak van het winkelcentrum

Het ontwerp van de pilot te Wetteren is samengevat in Tabel 18 met een schematische weergave in figuur 28.

Tabel 18: ontwerpgrondslagen pilot te Wetteren

| | |
|-------------------------------|--|
| Adres: | Speeltuín Diepenbroek Olmenlaan 9230 Wetteren, België |
| Datum in bedrijf name pilot | november 2019 |
| Ontwerpcapaciteit | 65 m ³ waterberging, aangesloten op 3500 m ² verhard oppervlak |
| Minimale levensduur zuivering | Minimaal 5000 m ³ (alleen betreffende opgeloste verontreinigingen, andere verontreinigingen langer) |
| Oppervlak URS | 75 m ² |
| Volume URS Mengsel | 95 m ³ |
| DSI (infiltratieput) aanwezig | nee |
| Volgorde filter media | Eerst AA Ecoschelpenmix rondom aanvoer verdeeldrain Daarna AA Minerals rondom afvoerverzameldrain |



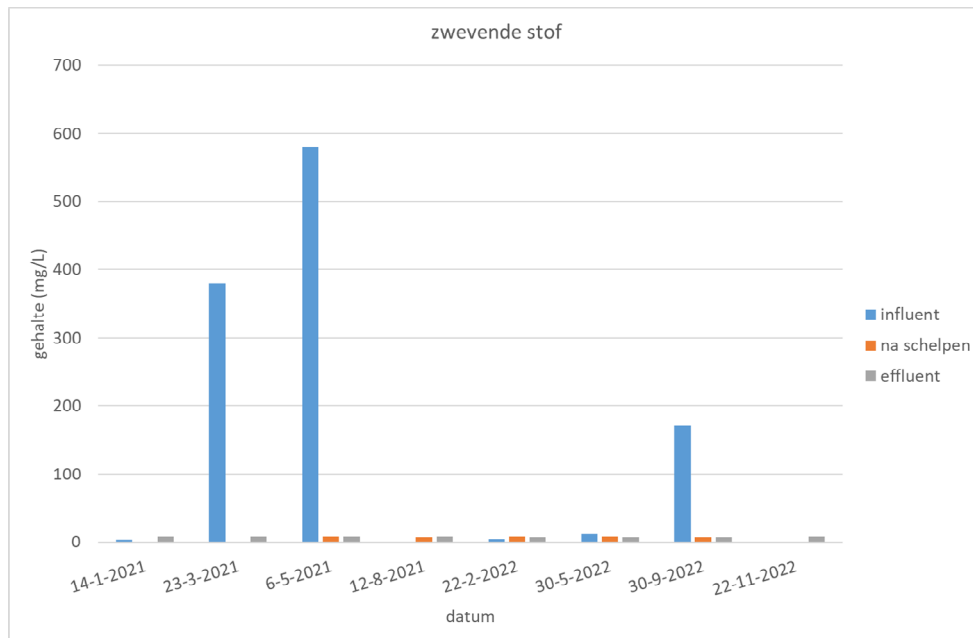
Figuur 28: schematisch dwarsprofiel regenwater pilot te Wetteren

In Wetteren zijn vanaf januari 2021 monsters genomen, maar die zijn niet op dezelfde parameters geanalyseerd als de filtersystemen in de voorgaande paragrafen. Dit kwam doordat de analyses door het lab van Aquafin zelf zijn gedaan, die andere parameters meten. Tijdens het onderzoek is een overloopleiding aangelegd, die vanuit de URS rechtstreeks naar de hemelwaterafvoer (HWA)-put loopt.

5.4.2 Resultaten

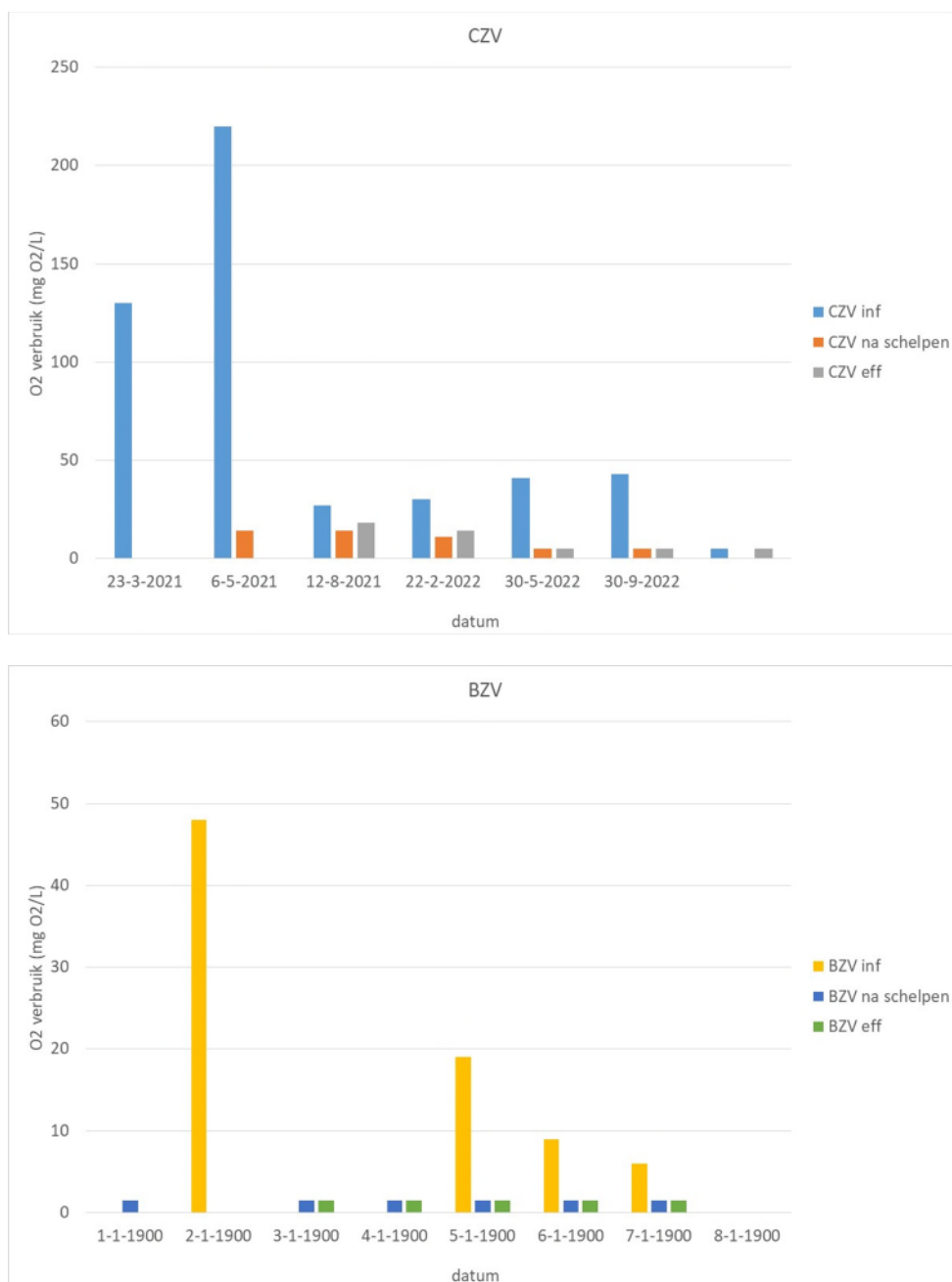
Het is belangrijk op te merken dat de hoeveelheid water die door de buffer is gestroomd minimaal was tijdens de proefperiode. Tussen juli-november 2023 is er slechts 8 m³ water uit de buffer gestroomd, terwijl het volume van de buffer zelf 65 m³ was (het totale volume van de URS was 95 m³). In die periode is er ongeveer 1920 m³ neerslag op het dak gevallen. Dit kon niet allemaal door het filter geleid worden, maar een hoeveelheid van 8 m³ is wel klein. Hierbij moet worden aangetekend dat het ontwerp van deze pilot ook niet bedoeld was om er veel water mee te verwerken (maximaal 100 m³/jaar). Bij de andere pilots bleek dat het filter wel doorstroomd wordt, als het water aan de URS wordt aangeboden. Het verdient aanbeveling het hydraulisch ontwerp van het aanvoerende systeem aan te passen in situaties waarin grotere hoeveelheden neerslag via een verzamelleiding naar een URS worden geleid (zoals de dimensionering van de voorbezinking, overstortniveaus, een grotere diameter van de aanvoerleidingen en -drains en/of toepassing van meerdere aanvoerdrains).

Monsters werden genomen van het influent, vanuit een peilbuis in de AA Ecoschelpenmix en in het effluent (na de mineralenmix). De resultaten zijn samengevat in Bijlage VI. Het blijkt dat het gehalte zwevende stof in het influent sterk kan variëren, maar dat het filter zwevende stof vrijwel geheel uit het water kan verwijderen (Figuur 29).



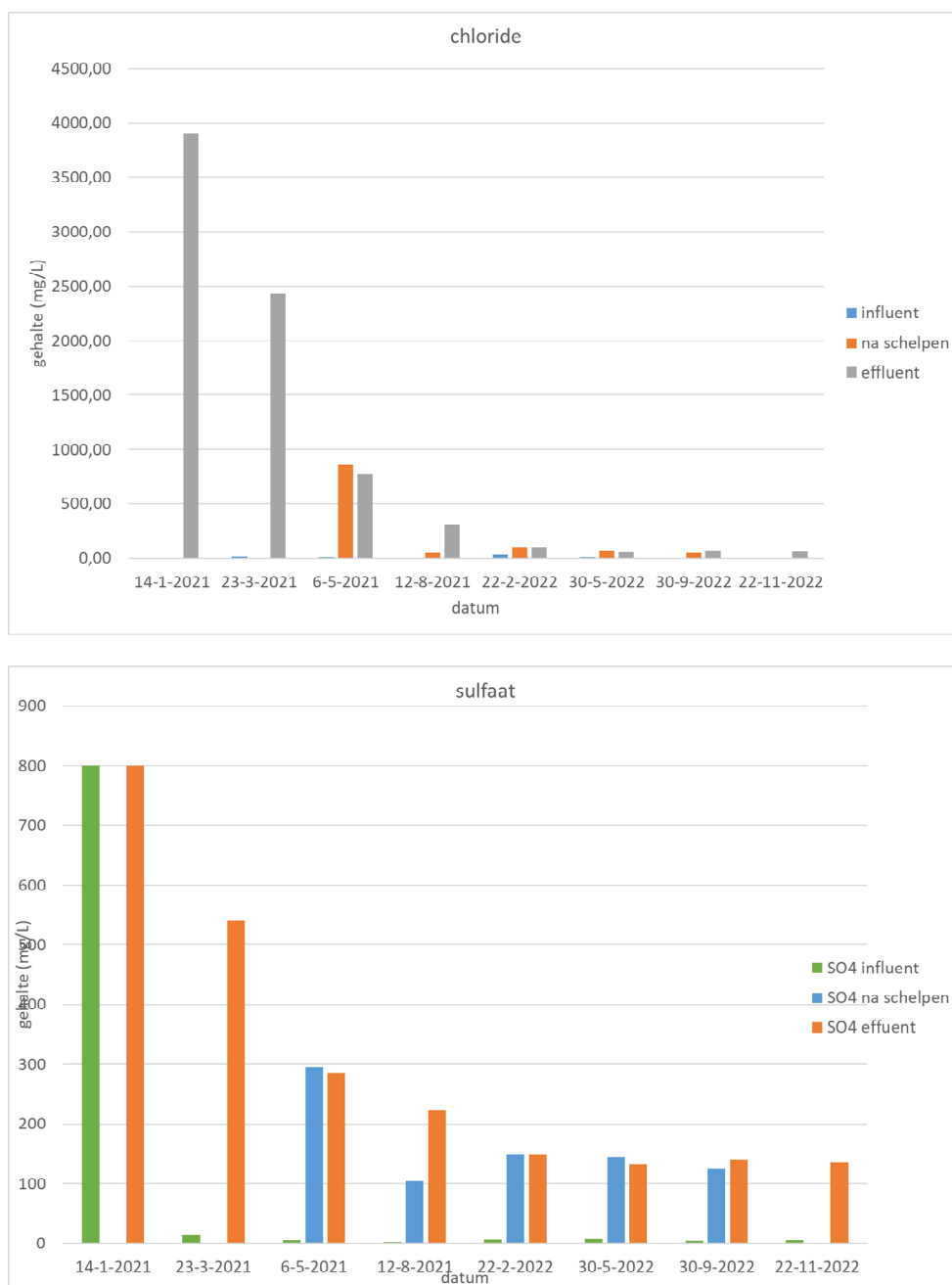
Figuur 29: zwevende stof in het water van Wetteren, in het influent, na de schelpenbuffer en in het effluent

De resultaten van de CZV- en BZV-metingen zijn verwerkt in Figuur 30. Het is duidelijk dat alleen al het verblijf in de AA Ecoschelpenmix een groot deel van beide parameters in het water verwijdert. Vanwege de lange verblijftijd is het niet duidelijk in hoeverre dit alleen door de schelpenmix komt. Er komen wel grote verschillen voor tussen het influent op verschillende dagen.



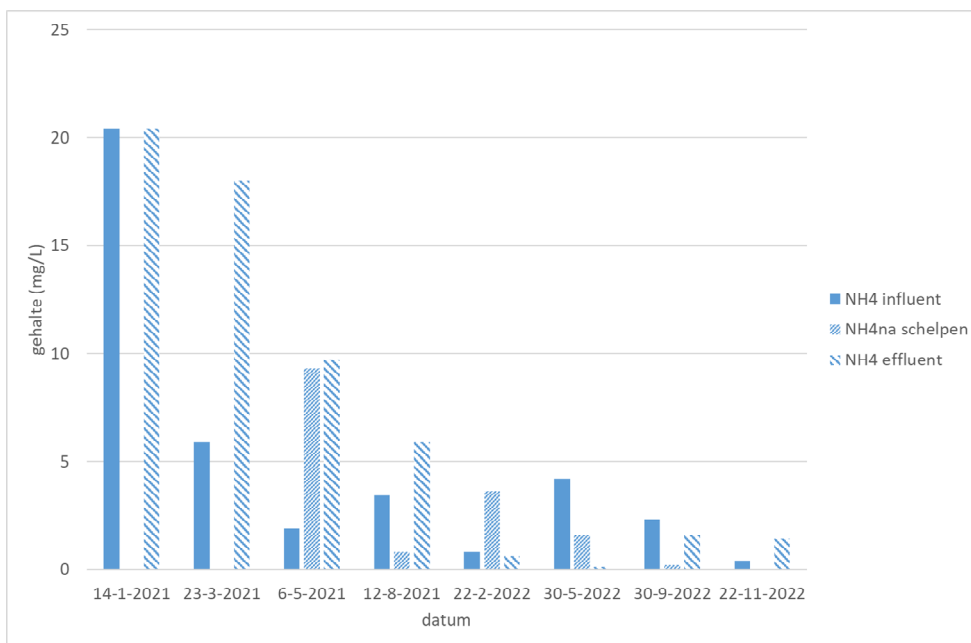
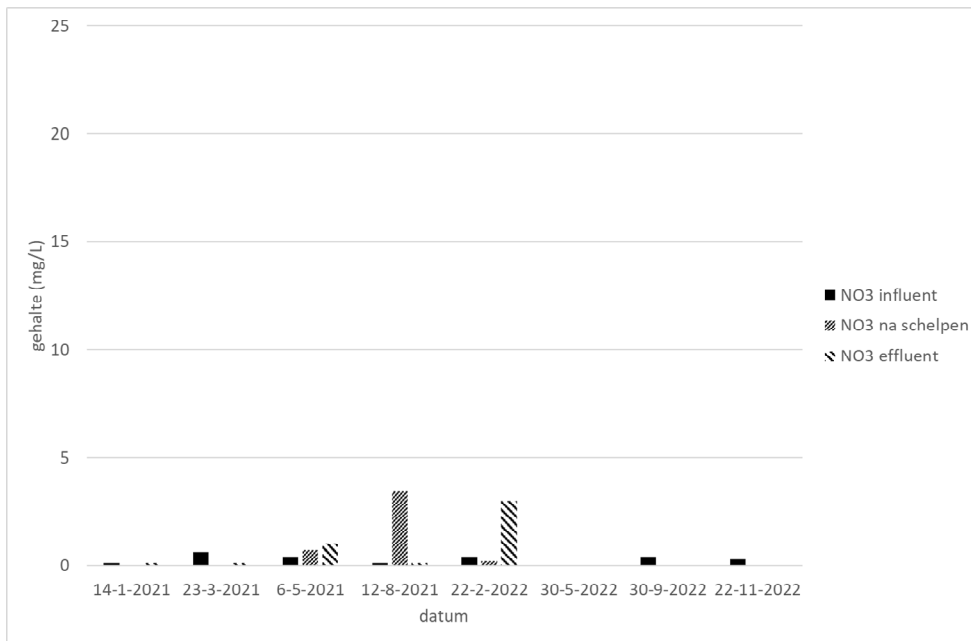
Figuur 30: CZV- en BZV-gehalte van het water van Wetteren in het influent, na de schelpenbuffer en na filtratie over de AA Minerals mix (effluent)

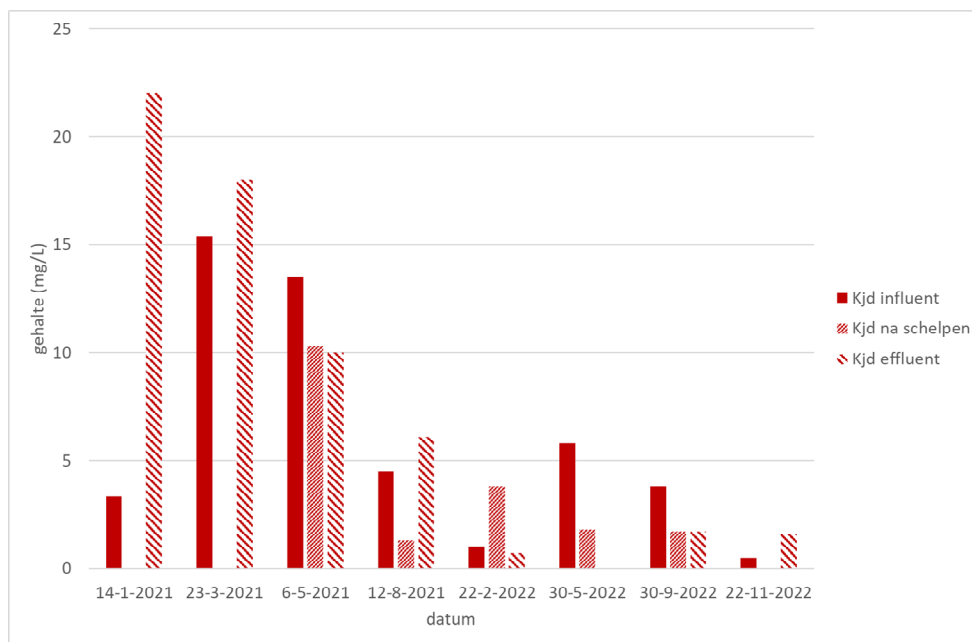
In Figuur 31 zijn het chloride- en sulfaatgehalte van het water weergegeven. Het influent bevat nauwelijks beide ionen, afgezien van een sulfaatpiek in het eerste influent. Beide gehalten nemen toe door de passage van de schelpenmix. In sommige gevallen lijkt er nog iets meer vrij te komen door filtratie over de mineralenmix, maar dat verschil is over het algemeen erg klein (wellicht speelt de lange verblijftijd hierin een rol). Het effect is het grootste vlak na de aanleg van het systeem, en stabiliseert later, al blijven er wel zouten uitspoelen. Deze effecten komen overeen met wat bij de ander pilots in de gehalten kationen (zoals natrium) werd waargenomen. Zeer waarschijnlijk zijn deze ionen afkomstig van zeezout, dat in de schelpen nog aanwezig was.



Figuur 31: chloride en sulfaatgehaltenes van het water van Weteren in het influent, na de schelpenbuffer en na filtratie over de AA Minerals mix (effluent)

De gehalten aan sulfaat- en chloride-ionen in het effluent zijn in het begin veel hoger dan de Vlaamse normen voor irrigatiewater toestaan. Na ongeveer 1,5 jaar, waarin het filter tweemaal volledig werd doorgespoeld, daalt het chloridegehalte tot onder 100 mg/L (wat de irrigatienormen aangeven), maar na een kleine twee jaar is het sulfaatgehalte nog altijd > 100 mg/L (gedurende de maanden februari t/m november 2022 bleef het stabiel op ongeveer 140 mg/L). Dit is iets lager dan de infiltratienorm van 150 mg/L, waarbij wel wordt aangetekend dat die laatste afhankelijk is van de lokale situatie. Overigens is in die periode de URS niet meer leeggepompt, en was de doorstroming dus beperkt vanwege de te vernauwde aanvoer. Het is aan te bevelen om de URS, indien die voor de berekening van groen wordt toegepast, eerst minimaal tweemaal volledig te laten schelpendoorstromen.





Figuur 32: N-houdende componenten in het water van Wetteren in het influent, na de schelpenbuffer en na filtratie over de AA Minerals mix (effluent)

Ammonium (en Kjeldahl stikstof: organisch gebonden stikstof, NH_3 en NH_4^+) lijkt in het begin iets toe te nemen (wellicht door restmateriaal in de schelpenmix), maar lijkt later, zeker na twee keer doorspoelen van het filter, verwijderd te worden. Mogelijk wordt dit biologisch geoxideerd, want ook het nitraatgehalte lijkt op den duur te gaan toenemen.

De Vlaamse overheid stelt geen eisen aan stikstofgehalte in irrigatiewater (tabel 6).

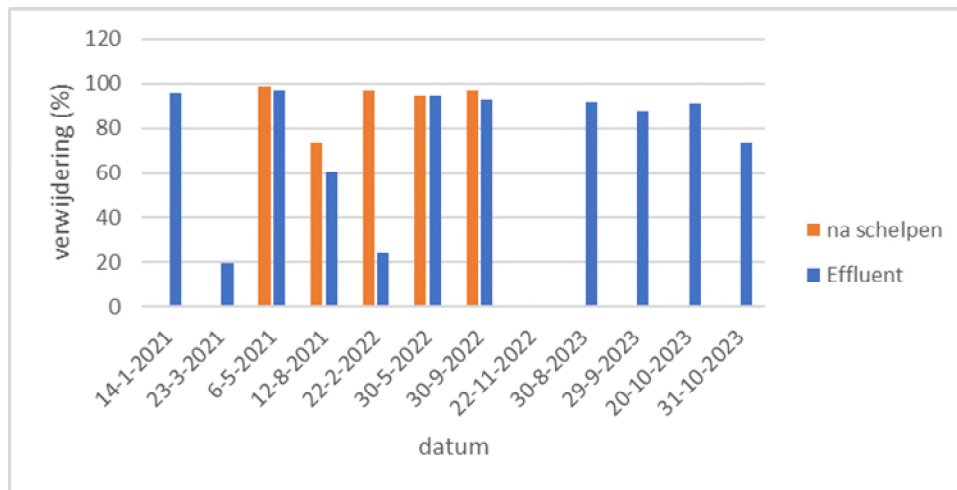
Resultaten van analyses van zware metalen zijn weergegeven in (tabel 19).

Tabel 19: gehalten aan zware metalen (mg/L) in het influent, na de schelpenmix en in het effluent

| datum | stroom | Cr | Cu | Hg | Ni | Pb | Zn |
|------------|-------------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| 14/01/2021 | influent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | 0,248 |
| | effluent | <0,030 | <0,015 | <0,0003 | 0,020 | <0,015 | <0,020 |
| 23/03/2021 | influent | <0,015 | 0,044 | 0,0006 | <0,015 | 0,043 | 0,480 |
| | effluent | <0,060 | <0,060 | <0,0003 | <0,060 | <0,060 | 0,385 |
| 6/05/2021 | influent | 0,016 | 0,077 | 0,0007 | <0,015 | 0,090 | 0,702 |
| | na schelpen | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | <0,020 |
| | effluent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | <0,040 |
| 12/08/2021 | influent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | 0,086 |
| | na schelpen | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | 0,023 |
| | effluent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | 0,016 | <0,015 | 0,034 |
| 22/02/2022 | influent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | 0,305 |
| | na schelpen | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | 0,015 | <0,015 | <0,020 |
| | effluent | <0,015 | 0,018 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | 0,231 |
| 30/05/2022 | influent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | 0,190 |
| | na schelpen | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | <0,020 |
| | effluent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | <0,020 |
| 30/09/2022 | influent | <0,015 | 0,029 | <0,0003 | <0,015 | 0,029 | 0,317 |
| | na schelpen | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | <0,020 |
| | effluent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | 0,023 |
| 22/11/2022 | influent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | 0,297 |
| | effluent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | |
| 30/08/2023 | influent | <0,015 | 0,017 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | 0,120 |
| | effluent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | <0,020 |
| 29/09/2023 | influent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | 0,082 |
| | effluent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | <0,020 |
| 20/10/2023 | influent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | 0,112 |
| | effluent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | <0,020 |
| 31/10/2023 | influent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | 0,194 |
| | effluent | <0,015 | <0,015 | <0,0003 | <0,015 | <0,015 | 0,051 |

In het influent werd één keer chroom aangetroffen, maar in een concentratie vlak boven de rapportagegrens. Dit is geen significante vervuiling met chroom. In het effluent na de schelpen en na de gehele installatie kon nergens chroom worden aangetoond. Koper werd drie keer in lage concentraties het influent aangetroffen, maar lijkt door het systeem meestal goed verwijderd te worden. Slechts één keer werd in het effluent nog koper gedetecteerd, maar in een concentratie vlak boven de rapportagegrens, waardoor dit niet als significant kan worden beoordeeld. Kwik is een enkele keer in lage concentraties aangetroffen in het influent, maar dit is waarschijnlijk niet significant. Nikkel is een enkele keer waargenomen in het effluent, maar in concentraties vlak boven de rapportagegrens, en dus niet significant genoeg om hier conclusies aan te verbinden. Lood is drie keer aangetroffen in het influent, maar werd in die gevallen door het systeem tot onder de rapportagegrens verwijderd. Zink is het enige metaal dat overal

in het influent in significante concentraties wordt aangetroffen. Dit metaal, dat waarschijnlijk afkomstig is van het opvangsysteem van het water zelf (goten, regenpijpen en dergelijke) wordt in de meeste gevallen goed verwijderd, zoals te zien is in Figuur 33. Er is slechts vijf keer gemeten in de tussenbuis, tussen de schelpenmix en de mineralen. Van die vijf keer werd in drie gevallen een hogere zinkconcentraties gemeten na de mix dan ervoor, maar het is niet duidelijk of dit significant is, en er dus nog zink uit de mix zou kunnen komen. Zeker omdat in de meeste gevallen na de mineralenmix nauwelijks of geen zink kon worden aangetroffen, waarmee het water aan de Vlaamse irrigatievoorschriften voor zware metalen voldoet. Ook voor infiltratie zou dit water aan de normen voldoen.



Figuur 33: verwijdering van zink uit het systeem

In Wetteren zijn PAK op een andere manier geanalyseerd dan bij de andere pilots (zie Tabel 20). Een overzicht is gegeven in Bijlage VI. Er zijn vijftien PAKs gemeten, waarvan er twaalf soms of met enige regelmaat werden aangetroffen, zoals weergegeven in Tabel 20. In vrijwel alle gevallen worden deze PAKs door het systeem verwijderd tot onder de analysegrens. Waar dat niet gebeurt, gaat het om zulke lage concentraties, dat dat niet relevant is. Ook is er geen relevant onderscheid te zien tussen de concentraties na de schelpenmix en na de mineralen, wat erop lijkt te wijzen dat de AA Ecoschelpenmix zelf al een goede verwijdering van PAKs geeft. Dit kan echter te maken hebben met de lange verblijftijd tijdens de onderzoeksperiode.

In het influent worden lage concentraties fosfaat en totaal fosfor aangetroffen, die echter door de URS goed verwijderd worden (tot onder de rapportagegrens). Dit is weergegeven in Tabel 21. Ook hier wordt geen duidelijk verschil waargenomen tussen de verwijdering door de schelpenmix en de mineralen. Deze parameters zullen gebruik als irrigatie-, filtratie- of speelwater dan ook niet in de weg staan.

Tabel 21: gehalten aan fosfaat en totaal fosfor in het influent, na de schelpenbuffer, en in het effluent

| datum | stroom | PO ₄ ³⁻ | P _{tot} |
|------------|-------------|-------------------------------|------------------|
| 14/01/2021 | influent | 0.2 | <0.2 |
| | effluent | <0.1 | 0.2 |
| 23/03/2021 | influent | 0.3 | 1.3 |
| | effluent | <0.1 | <0.7 |
| 6/05/2021 | influent | 0.1 | 1.8 |
| | na schelpen | <0.1 | <0.2 |
| | effluent | <0.1 | <0.2 |
| 12/08/2021 | influent | 0.4 | 0.6 |
| | na schelpen | <0.1 | 0.2 |
| | effluent | 0.1 | <0.2 |
| 22/02/2022 | influent | <0.1 | <0.2 |
| | na schelpen | <0.1 | <0.2 |
| | effluent | <0.1 | <0.2 |
| 30/05/2022 | influent | 0.1 | 0.4 |
| | na schelpen | <0.1 | <0.2 |
| | effluent | <0.1 | <0.2 |
| 30/09/2022 | influent | <0.1 | 0.5 |
| | (mg/L) | <0.1 | <0.2 |
| | effluent | <0.1 | <0.2 |
| 22/11/2022 | influent | <0.1 | <0.2 |
| | effluent | <0.1 | <0.2 |
| 30/08/2023 | influent | 0.2 | 0.5 |
| | effluent | <0.1 | <0.2 |
| 29/09/2023 | influent | 0.1 | 0.4 |
| | effluent | <0.1 | <0.2 |
| 20/10/2023 | influent | <0.1 | <0.2 |
| | effluent | <0.1 | <0.2 |
| 31/10/2023 | influent | <0.1 | <0.2 |
| | effluent | <0.1 | <0.2 |

De resultaten van microbiologische analyses zijn weergegeven in Tabel 22. Er vindt zeker enige mate van desinfectie plaats. De analyses van coliformen en enterococcen lijken te wijzen op gehalten die onder de normen van zwemwater liggen, maar op grond van deze data kan niet geconcludeerd worden dat het water aan de eisen voor zwemwater voldoet. Daarvoor zijn tweewekelijkse metingen van E.coli en enterococcen nodig over een langere periode (drie seizoenen), en hier betreft het enkele metingen, waarbij bovendien coliformen en niet specifiek E.coli zijn gemeten (waarbij overigens kan worden opgemerkt dat E.coli onderdeel vormt van coliformen, en het gehalte aan E.coli dus (significant) lager kan zijn dan dat van coliformen). Een aandachtspunt vormen

mogelijk Legionella, die in het influent zeker werden aangetroffen, maar tot onder de detectiegrens leken te worden verwijderd. Ook hier is weinig verschil waar te nemen tussen de gemeten gehalten vóór en na de mineralenmix, wat weer te maken zou kunnen hebben met de verblijftijd.

Tabel 22: overzicht micro-organismen in Wetteren

| datum | 6-5-2021 | | | 12-8-2021 | | | 30-5-2022 | | |
|--|-----------|-------------|-------|---------------|-------------|-------|------------|-------------|-------|
| | Infl. | Na schelpen | Effl. | Infl. | Na schelpen | Effl. | Infl. | Na schelpen | Effl. |
| Legionella pneumophila (kve/L) | | | | 2000 | <166 | <166 | 5000 | <100 | <100 |
| Coliformen 37° C (Kve/100 ml) | >6360 | 10 | 10 | >1000 | 10 | 980 | 1402900 | 10 | <10 |
| Escherichia coli 37 °C | 360 | <10 | 10 | 830 | <10 | <10 | 7900 | <10 | <10 |
| Enterococcen 100 ml (Kve/100 ml) | 2800 | 10 | 30 | 6000 | <10 | <10 | 35000 | <10 | <10 |
| Clostridium perfringens (Kve/100 ml) | 27000 | <10 | <10 | | | | | | |
| Sulfietreducerende clostridia (Kve/100 ml) | 27000 | 10 | <10 | | | | | | |
| Aantal kiemen (48-37) (Kve/ml) | 1080 | 150 | 70 | >3000 | 125 | 400 | >3000 | 480 | 11 |
| datum | 30-9-2022 | | | 29-9-2023 | | | 31-10-2023 | | |
| | Infl. | Na schelpen | Effl. | Infl. | Na schelpen | Effl. | Infl. | Na schelpen | Effl. |
| Legionella pneumophila (kve/L) | <166 | <166 | <166 | <250 | | <250 | <250 | | <166 |
| Coliformen 37° C (Kve/100 ml) | >100 | >100 | 0 | 17500 | | 790 | 11.200 | | 50 |
| Escherichia coli 37 °C | >100 | 3 | 0 | 2 | | 5 | 2200 | | <10 |
| Enterococcen 100 ml (Kve/100 ml) | >100 | 44 | 0 | 220 | | 76 | 1600 | | 20 |
| Clostridium perfringens (Kve/100 ml) | | | | | | | 100 | | 0 |
| Sulfietreducerende clostridia (Kve/100 ml) | | | | | | | 100 | | 0 |
| Legionella non-pneumophila (kve/L) | | | | <250 | | <250 | <250 | | <166 |
| Totaal aantal legionella species (kve/L) | | | | <250 | | <250 | <250 | | <166 |
| Aantal kiemen (48-37) (Kve/ml) | >3000 | >3000 | 79 | >3000 (72-22) | | 330 | | | |

5.5 Speel- en brouwater Fort Westoever in Den Helder

5.5.1 Experimentele omstandigheden

Het regenwater dat met de URS te Den Helder wordt gebufferd en gezuiverd, is van het talud van het fort afgestroomd of verzamelt zich op het omliggende terrein en weggetje. Het behandelde regenwater wordt gebruikt in een speeltuin die bovenop de URS gesitueerd is. In de toekomst wordt het mogelijk toegepast als input voor drankenproductie (ijsthee en/of bier). Een overzicht van de locatie is weergegeven in Figuur 34.



Figuur 34: situatie van de pilotlocatie in Den Helder (bron Google Maps), het gele rechthoekje is de locatie van de URS.

De URS bij Fort Westoever wordt op dit moment via het oppervlak gevoed via de weg en het talud. Het water wordt eerst geborgen in AA Ecoschelpenmix. Het systeem is uitgevoerd met een aanvoerdrain, waarop in de toekomst meer verhard oppervlak kan worden aangesloten (gedurende dit onderzoek was deze nog niet aangesloten). Het te gebruiken water wordt via de handpomp direct opgepompt vanuit de afvoerdrain ten behoeve van speelwater (dit water wordt gerecirculeerd over de URS). De afvoerdrain is omhuld met AA minerals t.b.v. zuivering. In het waterdichte folie is een doorvoer gemaakt, met als doel het systeem via een persleiding aan te sluiten op de waterkelder onder het fort als bron voor proceswater voor de brouwerij in Fort Westoever. Deze aansluiting is tijdens de proefperiode echter nog niet gemaakt. Daardat het systeem op dit moment geen additionele overstort heeft, kende het een beperkte doorstroming

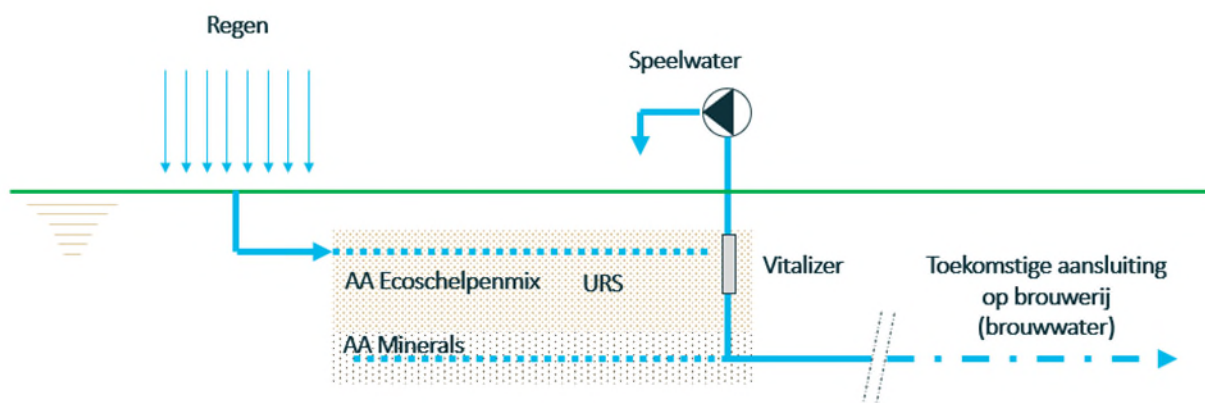
gedurende dit onderzoeksproject.

De buffer is in mei en september 2021 en in 2022 in totaal 4 maal leeggepompt, waardoor het doorstroomde volume op circa 80 m³ komt.

Het ontwerp van de pilot te Den Helder is samengevat in Tabel 23 met een schematische weergave in Figuur 35.

Tabel 23: ontwerpgrondslagen pilot te Den Helder

| Adres: | |
|---|---|
| Westoever 1 1785 PB Den Helder | |
| Datum in bedrijf name pilot | januari 2021 |
| Ontwerpcapaciteit | 21 m ³ waterberging. Capaciteit gerelateerd aan (toekomstig) verbruik. |
| Minimale levensduur zuivering | 10.000 m ³ (alleen betreffende opgeloste verontreinigingen, andere verontreinigingen langer) |
| Oppervlak URS | 30 m ² |
| Volume URS mengsel | 30 m ³ⁱ |
| DSI (infiltratieput) aanwezig | Nee |
| Volgorde filter media | Eerst AA Ecoschelpenmix (oppervlakkige infiltratie) Daarna AA Minerals (rondom afvoerverzamel drain) |

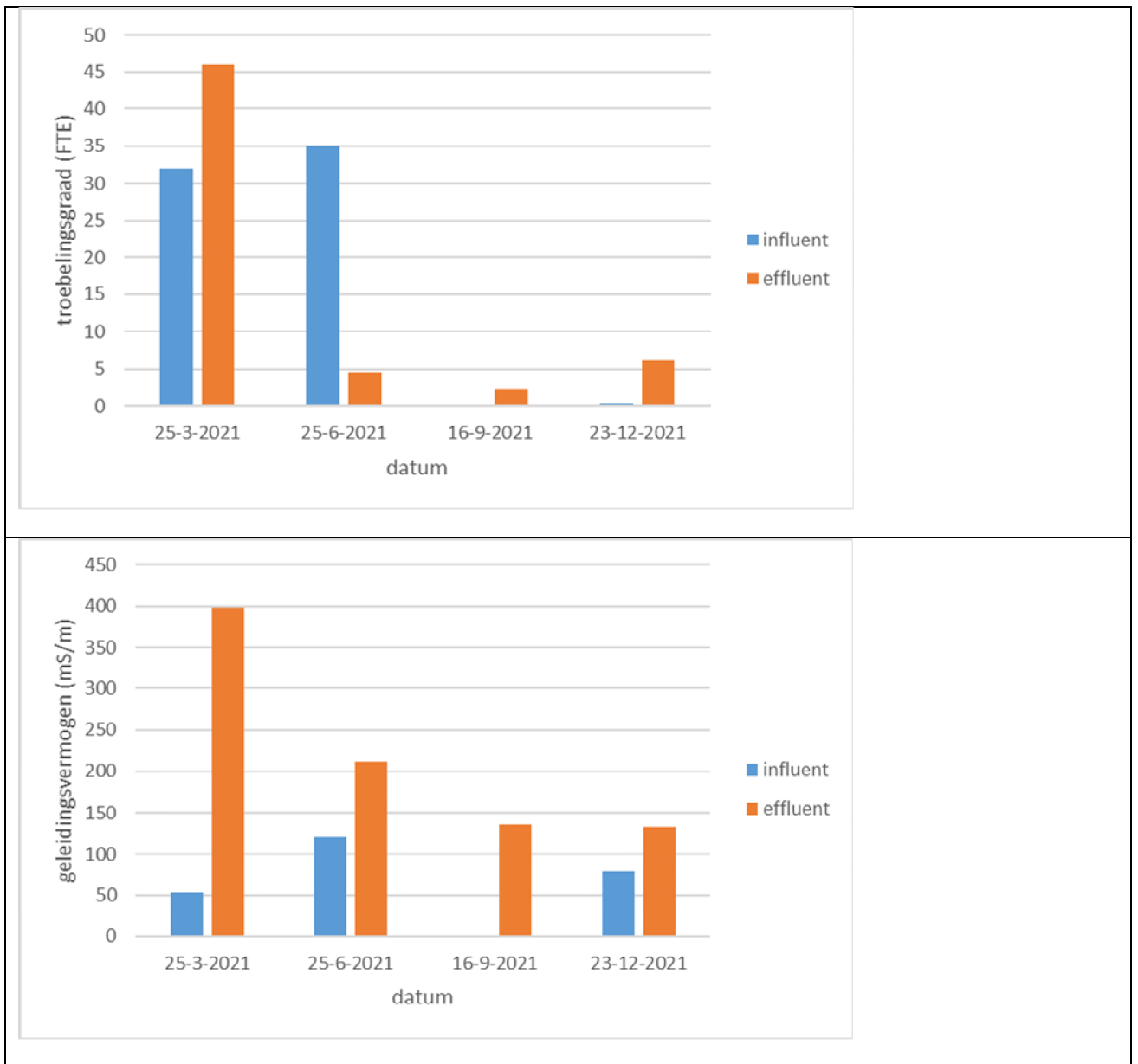


Figuur 35: schematisch dwarsprofiel regenwater pilot te Den Helder

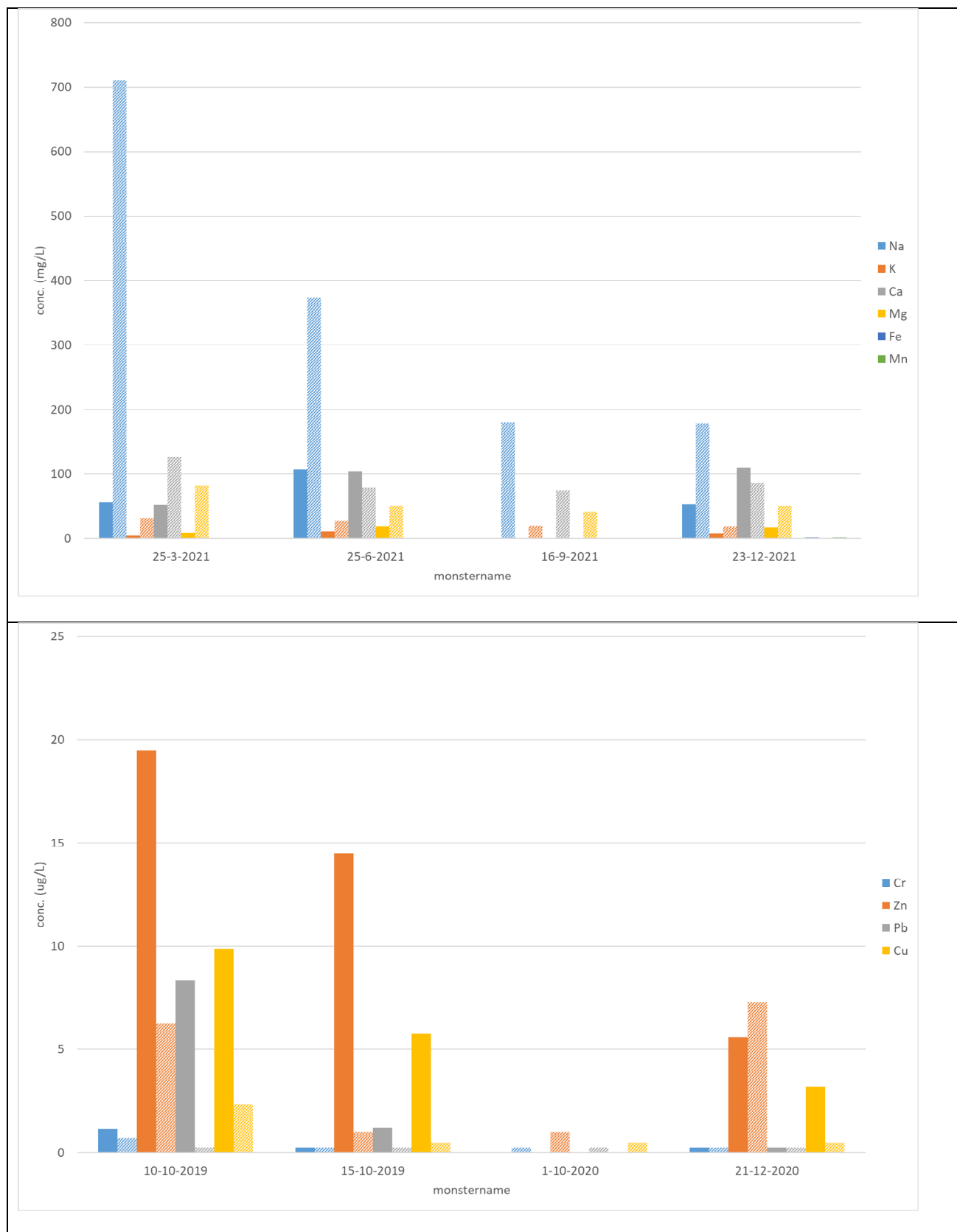
5.5.2 Resultaten

In Den Helder loopt geen water door het filtersysteem indien het er niet actief uitgepompt wordt. Dit heeft geleid tot een lange verblijftijd van het geanalyseerde water in het systeem, wat de resultaten mogelijk beïnvloed heeft.

De troebelingsgraad en het geleidingsvermogen van het water vóór en na filtratie zijn weergegeven in Figuur 36. Net als in de andere pilot-installaties wordt ook hier troebelheid over het algemeen goed verwijderd. De verhoging in het begin heeft waarschijnlijk te maken met het inlopen van het filter. Het geleidingsvermogen neemt ook in deze pilot toe, waarschijnlijk als gevolg van het oplossen van de schelpen en zout dat daar nog in aanwezig was (Figuur 37). Dit leidde tot een verhoging van de gehalten natrium, kalium, calcium en magnesium. Ook in deze pilot was het gehalte zink relatief hoog, en kwamen ook koper en lood in het influent voor, waarschijnlijk afkomstig uit de oppervlakken waarover opvang en transport plaatsvinden. Alle zware metalen werden echter effectief verwijderd (Figuur 37).



Figuur 36: troebelingsgraad (boven) en geleidingsvermogen (beneden) van het water in Den Helder vóór en na filtratie



Figuur 37: metalen in het water in Den Helder vóór en na filtratie. De massieve balkjes geven het gehalte in het influent weer, de gearceerde balkjes het gehalte in het effluent

PAKs kwamen in het influent tijdens de meetmomenten nauwelijks voor ($< 0,2 \mu\text{g/L}$), maar werden in dat geval wel verwijderd door de filtratie. Alle chemische waterkwaliteitsparameters van het effluent van de URS staan het gebruik als speel-, irrigatie- of infiltratiewater niet in de weg.

De resultaten van de microbiologische metingen zijn weergegeven in Tabel 24.

Tabel 24: gehalten aan micro-organismen in het water van Amsterdam, vóór en na filtratie

| datum | 25-3-2021 | | 25-6-2021 | | 16-9-2021 | | 23-12-2021 | |
|---------------------------------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|------------|----------|
| | influent | effluent | influent | effluent | influent | effluent | influent | effluent |
| Legionella, Matrix A Procedure 8,9,10 | <100 | <100 | 200 | <100 | | <100 | <100 | <100 |
| Coliformen 37° C | >12000 | 1 | 550 | 20 | | 1 | 3 | 4 |
| Escherichia coli 37 °C | 0 | 0 | NB | 20 | | 0 | NB | 1 |
| Enterococcen 100 ml | 20 | 0 | 15 | 19 | | 1 | 190 | 0 |

Coliformen en enterococcen worden in enige mate verwijderd (het is aan de hand van deze data niet exact uit te rekenen welke log-desinfectie gehaald kan worden),. Net als bij de overige pilots kan op grond van deze metingen niet worden vastgesteld of het effluent voldoet aan zwemwatereisen, maar er is niet vastgesteld dat het er zeker niet aan voldoet. Om hier uitsluitsel over te krijgen, zouden meerdere metingen over een langere periode nodig zijn van zowel E.coli (die onderdeel vormen van coliformen) en enterococcen. Legionella werd tijdens de meetcampagnes niet aangetoond.

5.6 Discussie pilotresultaten

In de pilots in Goes en Wetteren is het watervolume, dat werkelijk door de URS gestroomd is, gemeten. In Goes is het volume van de buffer 8,5 keer per jaar verversd ($180 \text{ m}^3/1521 \text{ m}^3/\text{jaar}$) en in Wetteren één maal per 2 jaar ($65 \text{ m}^3/\text{jaar}$ gemiddeld $32 \text{ m}^3/\text{jaar}$). In Den Helder wordt de buffer alleen verversd als er water uit de buffer gepompt wordt. Dat is tijdens de meetperiode van Vitens vier keer gedaan, zodat de verversing tijdens het vaststellen van de waterkwaliteit vier maal per jaar was. In Wijster en Amsterdam is wel bepaald hoeveel water door de URS kan stromen als er water aangeboden wordt, maar de behandelde hoeveelheid water is slechts theoretisch vastgesteld. De verversing zou dan respectievelijk vier en zeven maal per jaar zijn ($32,5 \text{ m}^3/136 \text{ m}^3/\text{jaar}$ en $6,3 \text{ m}^3/42,7 \text{ m}^3/\text{jaar}$).

De sterk variërende verversingssnelheid van de pilots en daarmee ook variërende verblijftijd van het water in de buffer zal invloed gehad hebben op de kwaliteitsverandering van het regenwater dat de buffer passeerde (bijvoorbeeld via biodegradatie). Over het algemeen blijkt dat deze filters, net als langzame zandfilters, zware metalen, PAKs en minerale oliën uit het water kunnen verwijderen, dat troebelheid goed verwijderd wordt, en dat er enige mate van desinfectie optreedt. Zink wordt in het influent vaak in relatief hoge concentraties aangetroffen, maar door de URS goed verwijderd, waardoor het effluent aan bijvoorbeeld irrigatierichtlijnen en het infiltratiebesluit voldoet. Hoeveel log-desinfectie bereikt kan worden met dit filter was niet vast te stellen, ook niet omdat het influent geen heel hoge concentraties bacteriën bevatte. Hiermee zou het water kunnen voldoen aan de zwemwaternormen, maar er is een uitgebreidere dataset nodig om dit met zekerheid te kunnen vaststellen. Het water voldoet zeker niet aan bijvoorbeeld drinkwaternormen. Dat was in deze gevallen echter ook niet nodig. Alleen moet worden opgemerkt dat officieel voor het produceren van dranken wel drinkwaterkwaliteit wordt vereist, en dus nazuivering noodzakelijk is. Bij speelwater wordt aanbevolen het bovengrondse ontwerp zodanig te maken dat het water niet gedronken wordt, bijvoorbeeld door de kop

van de kraan direct op een speelelement te laten uitkomen. Ook moet er een sticker met de tekst 'geen drinkwater' op worden aangebracht. Legionella blijft wel een aandachtspunt, want in de pilot in Amsterdam werd duidelijk legionella in het effluent aangetroffen, wat een gezondheidsprobleem kan opleveren als mensen aerosolen inademen. Het systeem in Amsterdam is echter gedurende de onderzoeksperiode niet in werking gesteld, en door het ontwerp van het systeem aan te passen en eventueel extra maatregelen te nemen voor desinfectie zijn de risico's mogelijk te verkleinen. In de andere pilots werd tijdens de meetcampagnes geen legionella aangetroffen, maar dat is geen garantie dat die nooit aanwezig zullen zijn. Het verdient daarom aanbeveling om in het bovengrondse ontwerp verneveling te voorkomen of, indien dat toch gewenst is, zoals bij het toepassen van bedriegertjes, additionele nazuivering toe te passen in de vorm van UV of diepte-infiltratie. In het algemeen kunnen enkele tips worden gegeven hoe de groei van legionella beperkt kan worden. Aangezien legionella gedijt bij hogere temperaturen, is het vanuit die optiek goed (bij de aanleg) maatregelen te nemen om opwarming zoveel mogelijk te voorkomen. Door de temperatuur van het water te monitoren kan een beter beeld van de risico's worden verkregen. Verder is het belangrijk ervoor zorgen dat de buffer goed doorstroomd wordt, en er dus geen dode leidingen in het systeem voorkomen. Aangezien legionella in de biofilm groeit, zal bij aanwezigheid van legionella in de biofilm altijd groei plaatsvinden, ook als het water wel stroomt. Alleen is er bij stilstand meer tijd voor uitwisseling van legionella tussen het water en de biofilm, waardoor de concentratie in het water zal toenemen. Ook bij recirculatie neemt het risico met legionella toe, omdat er ophoping kan ontstaan.

Vanuit de schelpenmix lossen zouten en kalk op in het water, wat echter voor de toepassing ervan geen probleem hoeft te zijn. De hoeveelheid opgelost natriumchloride neemt in de loop van de tijd wel wat af. Voor irrigatie zal het in de meeste gevallen geen probleem vormen, zeker niet als het filter enige tijd in gebruik is geweest.

Over het algemeen voldeed het effluent dat geanalyseerd is aan de eisen die worden gesteld aan irrigatie- en infiltratiewater. Voor speelwater zijn geen normen opgesteld. Zwemwaterkwaliteit zou hiervoor als richtlijn kunnen worden gehanteerd, en het zou kunnen dat het effluent hieraan voldoet, maar dat was met de huidige dataset niet met zekerheid vast te stellen.

Voor praktische toepassingen wordt aangeraden de URS zodanig te ontwerpen dat hij bij regenval altijd ververst wordt. Om de URS toe te passen in situaties waarin grote volumes water verwerkt moeten worden, is het van belang dat er aandacht wordt besteed aan het hydraulisch ontwerp van het systeem. Met name indien de URS gevoed wordt via één, relatief grote verzamelleiding, zoals in Wetteren het geval is (500mm). In dat geval moet er in het hydraulisch ontwerp aandacht zijn voor een juiste dimensionering van voorbezinking, overstortniveaus, grotere diameters van aanvoerleidingen en -drains en/of de toepassing van meerdere aanvoerdrains. Deze conclusie heeft vooral betrekking op de pilots van Wetteren en Den Helder, want in de andere pilots werd wel doorstroming aangetoond. In Den Helder werd de beperkte doorstroming veroorzaakt doordat het systeem tijdens de proefperiode nog niet is aangesloten op de waterkelder in het Fort, en er in het oorspronkelijke ontwerp geen aanvullende overstort is meegenomen. Verder wordt zeker aangeraden flowmeters te installeren, waarmee kan worden gecontroleerd in hoeverre de filters doorstroomd worden.

6 Beoordeling circulariteit Urban Rain Shell

6.1 Aanpak analyse circulariteit Urban Rain Shell

De Urban Rain Shell (URS) is een techniek die het mogelijk maakt om regenwater (lokaal) op te vangen, te zuiveren en opnieuw te gebruiken (hergebruik) voor verschillende watertoepassingen, zoals speel-, brouw-, sproei- of bluswater. De URS is innovatief te noemen omdat andere technieken zijn ontwikkeld om alleen te bufferen óf te zuiveren, terwijl de URS beiden doet. De vraag is in hoeverre de URS bijdraagt aan de circulariteit van een watersysteem (Drinkwaterplatform, 2022a), één van de pijlers van de watertransitie (Drinkwaterplatform, 2022b). De URS wordt in dit onderzoek beoordeeld vanuit het oogpunt van circulariteit en vergeleken met alternatieve technische ontwerpen voor buffering en/of zuivering van regenwater, zoals ondergrondse kratten. Het 'Donut Model voor de Circulaire Economie' (Segrave, van Alphen en Roest, 2020) diende als basis voor de beoordeling. Het 'Donut Model voor de Circulaire Economie' reikt criteria en een scorecard aan om verschillende ontwerpen voor de waterketen van een wijk onderling te vergelijken.

Om tot een weloverwogen analyse van de URS te komen is een iteratief proces doorlopen. In dit proces zijn verschillende stakeholders betrokken voor het leveren van informatie en voor het beoordelen van de technische ontwerpen (URS en alternatieve ontwerpen). Het proces bevat de volgende stappen:

1. Het definiëren van de evaluatiecriteria. De 16 kenmerken uit het Donut Model zijn door experts van KWR vertaald voor de beoordeling van een technisch ontwerp in plaats van de waterketen van een wijk (zie bijlage III).
2. Het vormgeven van technische ontwerpen en de nul-situatie voor het uitvoeren van een vergelijkende analyse door experts van KWR.
3. Het verzamelen van kwantitatieve en kwalitatieve data over de 16 kenmerken uit het Donut Model.
 - a. Door experts van KWR.
 - b. In werksessies met EWB (leverancier URS) en Buro Regen en Water (adviesbureau).
4. Het toekennen van scores aan de technische ontwerpen op basis van de verzamelde informatie door experts van KWR.
5. Het bespreken van (voorlopige) inzichten in een workshop met opdrachtgevers van dit TKI-project (Tabel 25: Deelnemers workshop URS beoordeling) inclusief:
 - a. Discussie over de beoordelingen van experts van KWR en aanscherping daarvan op basis van de reflecties.
 - b. Identificatie van weegfactoren voor de 16 kenmerken () bij verschillende stakeholders.
6. Het aanpassen van de technische ontwerpen en de nul-situatie door experts van KWR.
7. Het verzamelen van de (extra) informatie over o.a. de kosten van de technische ontwerpen.
8. Aanscherpen van de scores op basis van de reflecties uit de werksessie door experts van KWR.
9. Vastleggen van de resultaten in een rapportage door onafhankelijke onderzoekers van KWR.

Gezien de verschillende toepassingen van de URS in de pilots zijn specifieke ontwerpkeuzes gemaakt voor de technische ontwerpen van de URS en de alternatieve ontwerpen (meer hierover in paragraaf 6.4, resultaten analyse). Daarnaast is besloten om verschillende opdrachtgevers van het TKI-project als kennishouder te betrekken bij het uitvoeren van de analyse en beoordeling. EWB en Buro Regen en Water zijn gevraagd om informatie te leveren over de technische ontwerpen. Aanvullende informatie is middels een werksessie opgehaald. Alle informatie is vervolgens beoordeeld door KWR-onderzoekers en voor elk kenmerk van het 'Donut Model voor de Circulaire Economie' zijn scores toegekend aan de alternatieve technische ontwerpen. Omdat de stakeholders andere pilots vertegenwoordigen is niet overgegaan op ranking of eindbeoordeling van 'het beste ontwerp'. Lokale kenmerken en behoeften van betrokken partijen in een specifieke context zijn bepalend voor weging van factoren en een besluit ten aanzien van een technisch ontwerp. De resultaten van de vergelijkende analyse laten zien op basis van welke kenmerken een technisch ontwerp kan bijdragen aan een circulaire waterketen.

De workshop met stakeholders heeft plaatsgevonden op 18 oktober 2022 bij KWR, te Nieuwegein. Hieronder een overzicht van de workshop deelnemers.

Tabel 25: Deelnemers workshop URS beoordeling

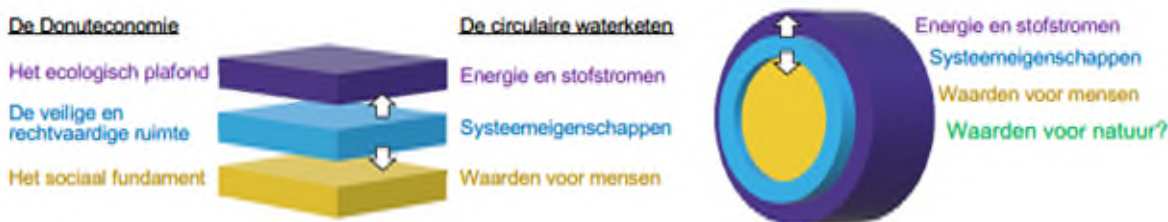
| Deelnemers Workshop | Naam | Organisatie | Expertise |
|---------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 1 | Christiaan Stouten | Traas en Ova Sport B.V. | Aannemingsbedrijf |
| 2 | Ivo Tanis | Buro Regen & Water | Adviesbureau |
| 3 | Christina Ottersberg | Gemeente Amsterdam | Assetbeheer |
| 4 | Torben Tijms | Waternet | Waterschap en Drinkwaterbedrijf |
| 5 | Birgit de Bock | Aquafin | Beheer zuiveringsinfrastructuur |
| 6 | Ger Pannekoek | EWB | Leverancier URS |
| 7 | Henk Pannekoek | EWB | Leverancier URS |
| 8 | Ron Jong | KWR | Expert Zuivering |
| 9 | Andrew Segrave | KWR | Expert Donut Model |
| 10 | Roberta Hofman | KWR | Expert Zuivering |
| 11 | Fabi van Berkel | KWR | Expert Waarde-afweging |

6.2 Criteria voor het beoordelen van circulariteit

Voor de beoordeling van de URS is het Donut Model voor de Circulaire Waterketen als uitgangspunt genomen. Dit model is met succes gebruikt in bijeenkomsten met stakeholders om de mate van circulariteit van verschillende ontwerpen voor de waterketen van een wijk te vergelijken (Roest, Römgens, van Alphen & Segraven, 2020). Het model bouwt voort op verschillende concepten aangaande de circulaire economie – zoals het 10Rmodel (Potting et. al, 2018) of cascadering – en is visueel geïnspireerd is door het economische model van de Donut Economie van Kate Raworth (Raworth, 2017). Het model reikt naast een operationalisering van ‘circulariteit’ in kenmerken specifiek voor de waterketen ook een scorecard aan. Deze scorecard ondersteunt ontwerpers, beleidsmakers en beslissers bij het *omschrijven, bespreken, afbakenen* en *vastleggen* van wat in de waterketen wordt verstaan onder ‘volledig circulair in 2050’. Het model is dus niet gericht op het gedetailleerd uitwerken van kwantificeerbare kenmerken, maar laat zien in hoeverre maatregelen of ontwerpen bijdragen aan de mate van circulariteit. In dit onderzoek wordt het model benut om te beoordelen in hoeverre de technische ontwerpen bijdragen aan een circulaire waterketen (Segrave, van Alphen en Roest, 2020).

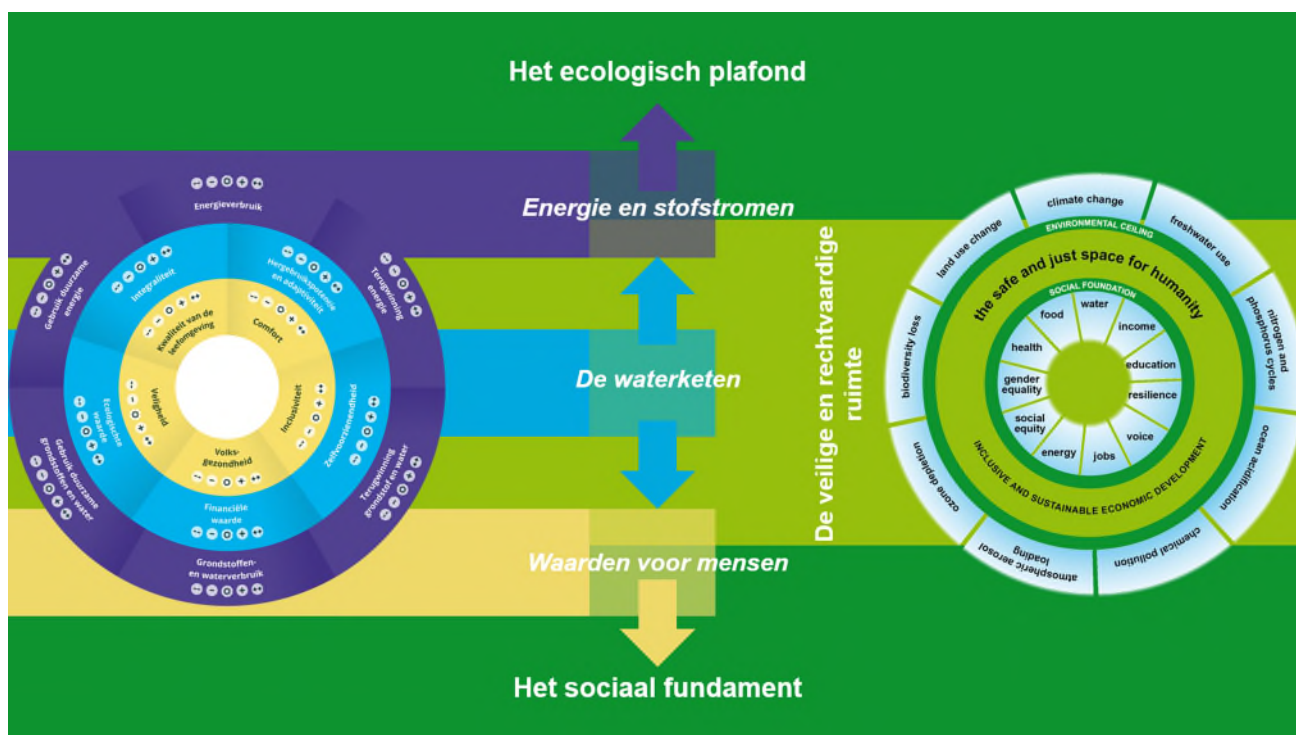
6.2.1 Donut Model voor de Circulaire Waterketen

Het model is geïnspireerd op de Donut Economie van Kate Raworth, en aangepast op basis van inzichten over circulariteit en de karakteristieken van de watercyclus. Het economische model van Kate Raworth is er simpel gezegd op gericht om de behoeften van iedereen te realiseren binnen de draagkracht (carrying capacity) van de aarde (planetary boundaries). Het kent drie lagen (zie figuur 38); 1) het ecologische plafond dat de planetaire grenzen vertegenwoordigt, 2) het sociaal fundament dat de behoeften van de mens vertegenwoordigt en daartussenin 3) de veilige en rechtvaardige ruimte waarbinnen de (economische) activiteiten zouden moeten plaatsvinden.



Figuur 38: De lagen in het Donut Model voor de circulaire waterketen geïnspireerd door het Donut Model van Kate Raworth.

In het Donut Model voor de Circulaire Waterketen is het drie-lagen principe overgenomen (zie Figuur 39), maar zijn de lagen en kenmerken gespecificeerd voor een circulaire waterketen. Op deze manier functioneert de het Donut Model voor de Circulaire Waterketen als vertaalsleutel om de bijdragen van de waterketen aan het ecologisch plafond en aan het sociaal fundament in kaart te brengen.



Figuur 39: Verhouding tussen het Donut Model voor de Circulaire Waterketen en het Donut Model voor de Circulaire Economie

Het Ecologische Plafond wordt in het toegepaste model gespecificeerd in *fysieke kenmerken* van de ‘energie en stofstromen’ (paars) waarmee de waterketen druk uitoefent op het ecologische plafond. Deze laag is opgebouwd uit zes kenmerken die gericht zijn op het gebruik van energie, water en grondstoffen. Het gaat om energieverbruik, gebruik duurzame energie, energieretrieving, water- en grondstoffenverbruik, gebruik duurzame grondstoffen en water terugwinning duurzame grondstoffen en water. De laag ‘waarden voor mensen’ (geel) vertegenwoordigt in dit model de bijdrage van de waterketen aan het sociaal fundament en is opgebouwd uit vijf sociaal-politieke kenmerken. De kenmerken zijn volksgezondheid, veiligheid, inclusiviteit, comfort en kwaliteit van de leefomgeving. De laag ‘systeemeigenschappen’ (blauw) is de waterketenspecifieke invulling van de ‘veilige en rechtvaardige ruimte’ in het model van Raworth en kijkt naar de eigenschappen van een ontwerp of systeem zelf. Kenmerken waarmee de systeemeigenschappen beoordeeld kunnen worden zijn zelfvoorzienendheid, hergebruikspotentie en adaptiviteit, financiële waarde, integraliteit en ecologische waarde van het watersysteem zelf. Figuur 40 geeft een overzicht van alle kenmerken uit het Donut Model voor de Circulaire Waterketen.

Energie- en stofstroom: fysieke kenmerken van (onderdelen van) de waterketen

1. Energieverbruik
2. Grondstoffen- en waterverbruik
3. Terugwinning energie
4. Terugwinning grondstoffen en water
5. Gebruik duurzame energie
6. Gebruik duurzame grondstoffen- en water

Waarden voor mensen: sociaal-politieke kenmerken van (onderdelen van) de waterketen

7. Volksgezondheid
8. Veiligheid
9. Inclusiviteit
10. Comfort
11. Kwaliteit van de leefomgeving

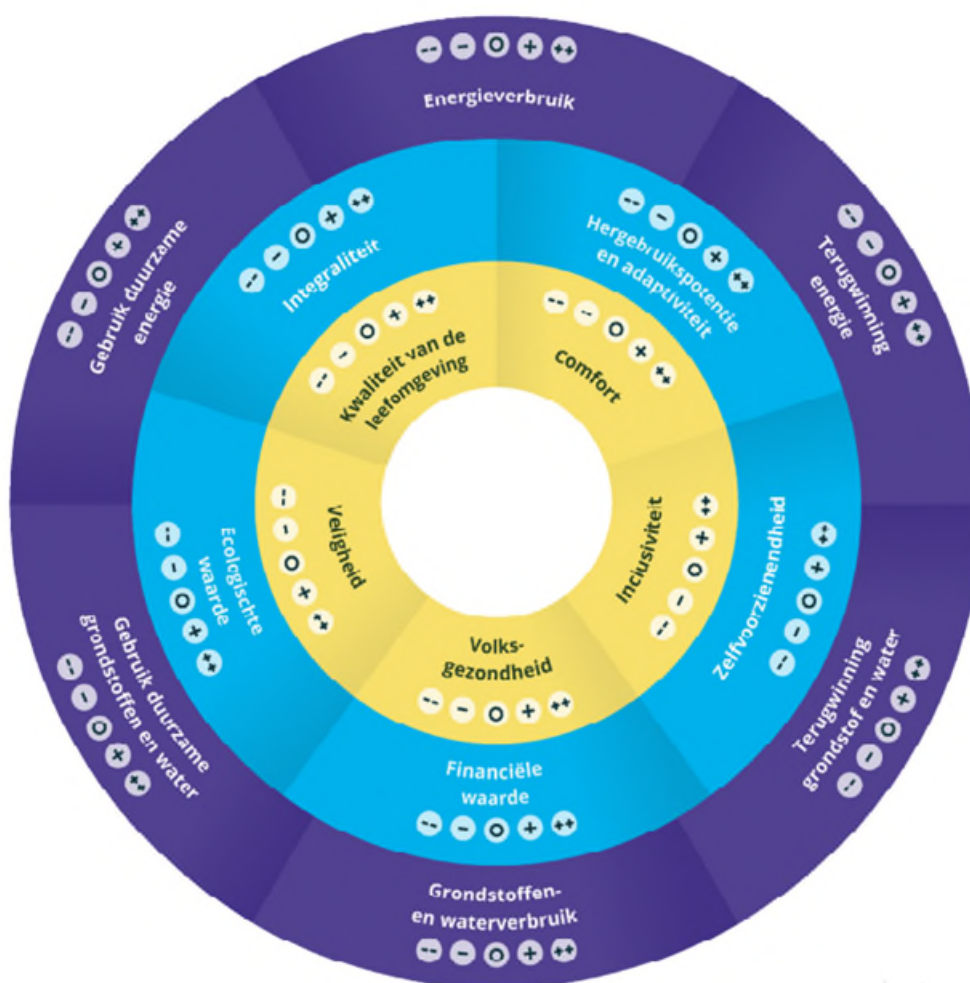
Systeemeigenschappen: kenmerken van de waterketen op systeemniveau

12. Zelfvoorzienendheid
13. Hergebruikspotentie en Adaptiviteit
14. Financiële waarde
15. Integraliteit
16. Ecologische waarde

Figuur 40: Overzicht van kenmerken van het Donut Model voor de Circulaire Economie

Bij het ontwikkelen van het Donut Model voor de Circulaire Waterketen is besloten alle kenmerken in positieve zin te formuleren. Dat wil zeggen dat waar het mogelijk is om naar de hoeveelheid afvalproductie te kijken, wordt in dit model naar het behoud van energie en grondstoffen bekeken: Hoe meer energie en grondstoffen gerecycleerd worden, hoe meer ze in het systeem worden behouden. Dit is een ontwerpkeuze die bedoeld is om meer ruimte te scheppen voor oplossingen die een netto positieve impact hebben in plaats van oplossingen die geoptimaliseerd zijn rondom het beperken van negatieve impacts. Voor het beoordelen van emissies is dit belangrijk om te beseffen. Emissies worden meegerekend als een negatieve score op het kenmerk 'Terugwinning Grondstoffen en Water'.

Met de scorecard uit het Donut Model voor de Circulaire Economie (Figuur 41) kan bepaald worden in hoeverre een ontwerp voor de waterketen van een wijk positieve of negatieve gevolgen heeft (-- / - / 0 / + / ++) voor elk van kenmerken. Het idee is daarbij dat verschillende ontwerpen kunnen worden vergeleken met een 'nul-situatie': een situatie waarbij er geen maatregelen worden genomen. Hierdoor kan worden ingeschat in hoeverre een bepaalde oplossing bijdraagt aan elk van de kenmerken van de circulaire waterketen. Door deze scorecard toe te passen kunnen ontwerpopties onderling worden vergeleken, maar de afwegingen van besluitvormers zullen altijd bepalend zijn voor de keuze voor een ontwerp. De scorecard is generiek en betrokkenen moeten weegfactoren nog toekennen in een participatief proces. Door weegfactoren toe te kennen kan door betrokkenen worden aangegeven wat als belangrijk wordt gevonden bij een bepaalde oplossing in een specifieke situatie.



Figuur 41: Scorecard Donut Model voor de Circulaire Economie

6.2.2 Donut Model voor een Technisch Ontwerp

De kenmerken uit het Donut Model voor een Circulaire Waterketen model worden gebruikt om te bepalen *in hoeverre de URS en ook andere technische ontwerpen voor buffering en zuivering van regenwater bijdragen aan het tot stand komen van een Circulaire Waterketen*. Omdat dit model ontwikkeld is voor het beoordelen van ontwerpen voor een circulaire waterketen was het nodig om een vertaalslag uit te werken voor het beoordelen van een technisch ontwerp. In bijlage 0 staan de gebruikte kenmerken beschreven. Per kenmerk wordt ook aangegeven welke informatie nodig is om een score te bepalen en ook de wijze waarop een score kan worden toegekend. Deze vertaalslag maakte het mogelijk om relevante informatie te verzamelen over de verschillende ontwerpen. De informatie was namelijk gefragmenteerd beschikbaar en diende te worden aangeleverd door verschillende kennishouders, zoals EWB en Bureau Regen en Water. Informatie over de verschillende kenmerken is verzameld in één overzichtelijke werksheet (zie bijlage IX) en is meermaals bediscussieerd met de kennishouders en opdrachtgevers van dit TKI-project.

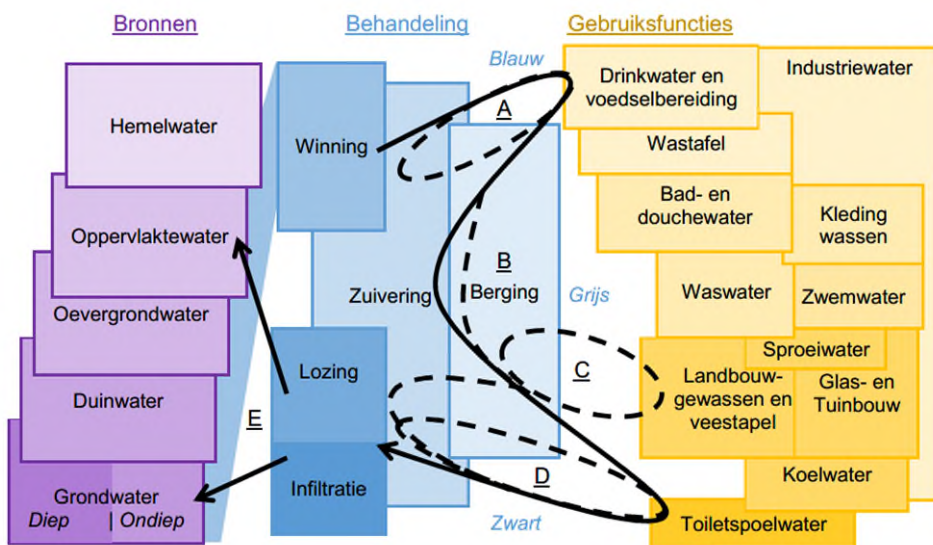
6.3 Technische Ontwerpen in de vergelijkende analyse

Om te bepalen in hoeverre het toepassen van de URS bijdraagt aan de circulariteit van een waterketen is op basis van de kenmerken uit het Donut Model een vergelijkende analyse uitgevoerd. Voor het uitvoeren van deze analyse was het nodig om de technische ontwerpen voor buffering en zuivering vorm te geven en ook een 'nul-situatie' te definiëren. In het ideale geval zou er voor elke pilot een vergelijkende analyse worden uitgevoerd. Dan zou voor verschillende toepassingen van de URS (zoals speel- of bluswater) in een werkelijke situatie bepaald kunnen worden welk technisch ontwerp de grootste bijdrage zou leveren aan een lokale circulaire waterketen. Gezien de scope van (dit onderdeel) van

het onderzoek is deze aanpak niet haalbaar. Het zou namelijk betekenen dat er voor 20 ontwerpen informatie verzameld moet worden. Het uitvoeren van één vergelijkende analyse voor één pilot was ook niet wenselijk. Om deze reden is gekozen om een vergelijkende analyse uit te voeren voor een 'fictieve situatie' en de toepassing van de URS en andere technische ontwerpen te analyseren op basis van gegevens en omstandigheden in een 'gemiddelde gemeente'. Gemeente Amersfoort is geïdentificeerd als een gemiddelde gemeente, waarbij er dus geen rekening is gehouden met de specifieke lokale omstandigheden in de pilots. In de informatiesheet is in sommige gevallen wel informatie opgenomen over problematiek waarvoor niet is uitgezocht of het speelt voor deze gemeente, zoals paalrot.

In de analyse zijn twee URS toepassingen opgenomen (het 'innovatieve ontwerp'), twee 'standaard ontwerpen' en één 'combi-ontwerp' gebaseerd op technieken die vaak worden toegepast voor het bufferen en zuiveren van (regen)water (zie de volgende paragrafen). Deze vijf technische ontwerpen zijn in eerste instantie vormgegeven door een KWR-expert en op basis van de discussies in de werksessie met de stakeholders aangepast. De volgende uitgangspunten en aannames hebben geleid tot de selectie van vijf ontwerpen voor de vergelijkende studie:

- De ontwerpen maken *hergebruik* van het gebufferde en gezuiverde water mogelijk voor vier toepassingen (zie Figuur 42). Deze toepassingen behoeven verschillende waterkwaliteiten:
- Hergebruik vraagt om hoge waterkwaliteit. Dit houdt in dat gezuiverde water wordt hergebruikt in toepassingen waarbij er sprake is van of kans is op inname van het water door mensen, zoals bij speel- en/of brouwwater.
- Hergebruik vraagt om lage waterkwaliteit. Dit houdt in dat het gezuiverde water wordt hergebruikt in toepassingen waarbij er weinig sprake is van of kans is op inname van het water door mensen, zoals bij sproei- of bluswater
- Het (her)gebruikte water wordt aan de hand van 3 kwaliteiten getypeerd, namelijk *zwemwaterkwaliteit*, *sproeiwaterkwaliteit* en *regenwaterkwaliteit*.
- Voor de ontwerpen is gekeken naar een gebruik en levenscyclus van 50 jaar.
- De ontwerpen kunnen 50m³ water bergen (volume van de opvang). Er is hiervoor gekozen omdat de pilots een vergelijkbare grootte hebben.
- Voor de (regen)input van de technische ontwerpen is gerekend met 1000 m² verhard oppervlak dat kan worden afgekoppeld door de installatie van een systeem. Er is uitgegaan van 800 mm regenval per jaar x 50 jaar is in totaal 40.000 m³ (800 x 1000 x 50) te behandelen en te hergebruiken water. Hierbij is aangenomen dat het filter goed doorstroomd wordt.
- Het infiltreren van regenwater in de bodem wordt niet gezien als toepassing of hergebruik, maar is wel onderdeel van de vergelijkende analyse bij het kenmerk 'ecologische waarde' uit het Donut Model. Bij infiltratie ná zuivering komen onder andere minder PAKs, olie en zware metalen in de bodem of water terecht.
-



Figuur 42. In geel zijn verschillende gebruiksfuncties voor water weergegeven (Segrave, van Alphen en Roest, 2020) A. Kort-cyclisch hergebruik voor hoogwaardige functies door middel van lokale zuivering. B. Lokale berging en/of zuivering van bv. grijswater. C. Berging voor afstemming in tijd en locatie. D. Terugwinning van energie en grondstoffen kan onderdeel uitmaken van opwaardering van grijswater of zwartwater voor hergebruik in functies met hogere kwaliteitseisen. E. Lozing (of infiltratie) van gebruikte water (kwantiteit, kwaliteit, en het moment in de tijd moeten goed afgestemd zijn op de locatie). Zie de hoofdttekst voor verdere context

Op basis van de informatie die voor elk technisch ontwerp is verzameld over de kenmerken uit het Donut Model (zie informatiesheet bijlage IX) is bepaald of een technisch ontwerp een bijdrage levert aan de totstandkoming van een circulaire waterketen.

De beoordeling heeft plaatsgevonden door te stellen dat de huidige keten (nul-situatie) geen bijdrage levert aan de totstandkoming van de circulaire waterketen (0). Vervolgens is gescoord in hoeverre het plaatsen van het technische ontwerp zorgt voor een afname of toename van de circulariteit van de waterketen. Deze beoordeling is uitgevoerd door drie KWR-experts (stap 4), besproken met de projectpartners (stap 5) en vervolgens aangescherpt door KWR-experts op basis van nieuwe inzichten uit de discussie (stap 8). Het Donut Model scoort op basis van een 5-punts Likertschaal, maar voor het overzicht zijn de scores omgezet in vijf kleuren (zie Tabel 26).

Tabel 26: Bijdrage aan de circulariteit van de waterketen in kleine, grote of toename of afname

| | |
|----|---|
| ++ | Grote toename van de circulariteit van de waterketen |
| + | Kleine toename van de circulariteit van de waterketen |
| 0 | Geen bijdrage aan de circulaire waterketen |
| - | Kleine afname van de circulariteit van de waterketen |
| -- | Grote afname van de circulariteit van de waterketen |

6.3.1 Nul-situatie

In de nul-situatie worden er geen maatregelen genomen en er wordt niet bijgedragen aan doelen om wateroverlast te beperken en (drink)water te (her)gebruiken. Met inachtneming van klimatologische ontwikkelingen en verwachting ten aanzien van extremer weer zijn er een aantal gevolgen met negatieve impact waarschijnlijk. In dit onderzoek is uitgegaan

van de gevolgen van geen maatregelen door te kijken naar effecten die beschreven zijn in de klimaatschadeschatter⁵. In deze tool is kennis over de schadekosten door klimaatverandering opgenomen die berekend zijn op basis van de KNMI'14 scenario's⁶. De gegevens voor de gemeente Amersfoort zijn gebruikt voor het bepalen de nul-situatie, hetgeen betekent 'geen maatregelen' (dat wil zeggen het uitgebreide gebruik van drinkwater en het afvoeren van regenwater via de riolering). In de informatiesheet in bijlage IV is terug te lezen wat de gevolgen van géén maatregelen zijn.

Voor de nul-situatie en de technische ontwerpen zijn de volgende uitgangspunten geformuleerd en aannames gemaakt:

- Er is uitgegaan van een levenscyclus van gemiddeld 50 jaar voor zowel een drinkwaterzuivering als een RWZI. Dit betekent dat er geen nieuwe systemen worden aangelegd in dit scenario.
- Voor de waarden energie en stromen wordt de nul-situatie beoordeeld op de productie/verwerking en transport van regenwater of drinkwater. Hierbij wordt gerekend met cijfers en inzichten over de huidige situatie, en worden toekomstige ontwikkelingen hierin niet meegenomen. De bouw en beheer van een drinkwaterproductie- of afvalwaterzuiveringssysteem is niet meegenomen in de analyse. Het terugrekenen van de energie of materiaalkosten gaat te ver voor deze analyse. Bij drinkwater is een persdruk af pompstation van 4 Bar aangehouden en voor het afvoeren en behandelen van afvalwater is transport en zuivering energie nodig (aanname. 2 Bar). Deze zijn leidend geweest voor de beoordeling, zie bijlage IX.
- Er ontstaat (lokaal) wateroverlast doordat de riolering het regenwater bij (piek)buien niet kan verwerken. De Klimaatschadeschatter beschrijft en berekent de volgende mogelijke impact:
 - a. Er ontstaat tijdelijke wateroverlast, waardoor verkeer wordt gestremd en wegen onbegaanbaar zijn
 - b. Er ontstaat directe of indirecte schade aan panden. Bijv. door volgelopen kelders, meer vochtige woningen, toename schimmels
 - c. Er kan directe schade ontstaan aan infrastructuur en voorzieningen
 - d. Toename kans uitval elektriciteitsvoorziening
 - e. Er kan toename van erosie zijn in heuvelachtig gebied
 - f. Er is toenemende kans op wateroverdraagbare ziektes (overstromen riolering en overstort)
 - g. Verandering van de waterkwaliteit van oppervlakte water door overstort en afspoeling (ook zware metalen, PAK's en olie komen in de wateren of natuur terecht)
 - h. De kans op overstromingen kan toenemen.
- Er moet drinkwater worden gebruikt i.p.v. het opvangen water. De impact hiervan is
 - a. Dat er meer druk ontstaat op de watervoorziening in tijden van droogte
 - b. Dat er niet/minder wordt bijgedragen aan waterbesparing, terwijl het een kabinetsdoelstelling is dat het dagelijks gebruik huishoudens naar 100L drinkwater per dag moet i.p.v. 120L (Vewin, 2022).
- Voor het berekenen van de financiële waarde van de nul-situatie is gekeken naar de kosten van wateroverlast en de kosten voor het gebruik van drinkwater. Voor een volledig overzicht van de kostenberekening die gemaakt is voor de financiële waarde voor de nul-situatie én de technische ontwerp zie bijlage X

6.3.2 Innovatief ontwerp: Urban Rain Shell voor hergebruik met hoge waterkwaliteit

Er zijn vier ontwerpen gemaakt voor vijf toepassingen. Aangezien elke URS op maat wordt gemaakt, kan met ook spreken van vijf ontwerpen, die in de hier volgende subparagrafen worden besproken.

Het regenwater wordt in dit ontwerp gebufferd en gezuiverd in een bed van AA Ecoschelpenmix, met aanvullende zuivering met AA-minerals. Het bed met schelpen en minerals is gestort/opgebouwd in een waterdichte folie en is afgedekt met geotextiel.

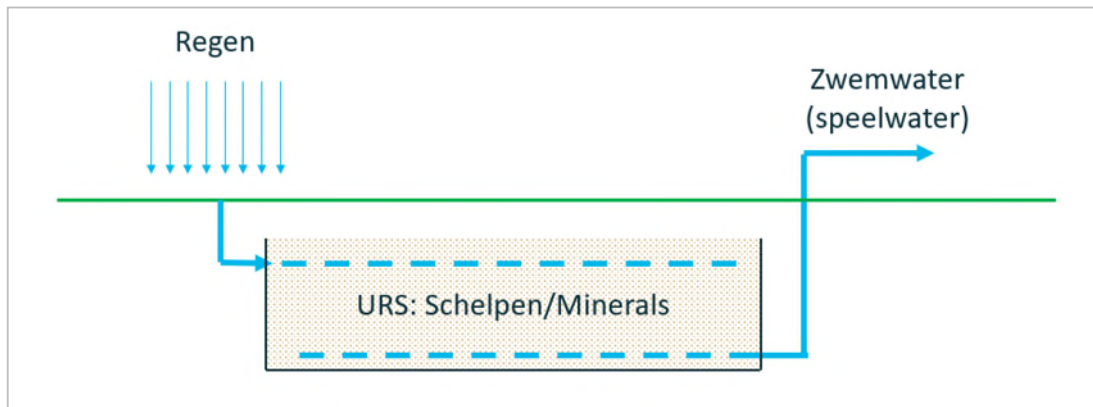
Het gezuiverde regenwater wordt hergebruikt als speel- of brouwwater van zwemwaterkwaliteit. Indien de URS vol is en

⁵ <https://www.klimaatschadeschatter.nl/>

⁶ In 2023 komen er nieuwe KNMI scenario's uit die uitgaan van de laatste inzichten van het XIe IPCC rapport, zie voor meer informatie:

<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/op-weg-naar-nieuwe-knmi-klimaatscenario-s>

overstroomt, zal dit gezuiverde regenwater geïnfiltreerd worden in een freatisch pakket of het watervoerend pakket met behulp van DSI.

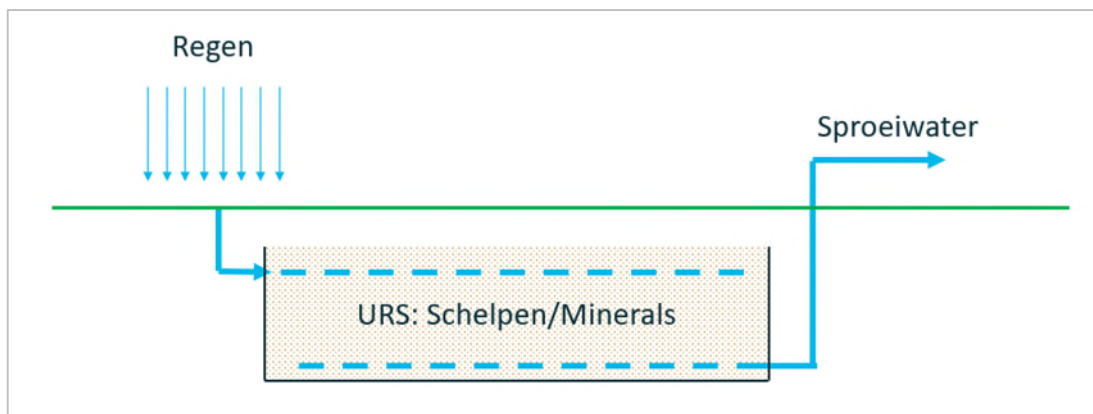


Figuur 43: URS voor hergebruik met hoge waterkwaliteit

6.3.3 Innovatief ontwerp: Urban Rain Shell voor hergebruik met lage waterkwaliteit

Het regenwater wordt in dit ontwerp gebufferd en gezuiverd in een bed van AA Ecoschelpenmix, met aanvullende zuivering met AA-minerals. Het bed met schelpen en minerals is gestort/opgebouwd in een waterdichte folie en is afgedekt met geotextiel.

Het gezuiverde regenwater wordt hergebruikt als sproei- of bluswater van sproeiwaterkwaliteit. Indien de URS vol is en overstroomt, zal dit gezuiverde regenwater geïnfiltreerd worden in een freatisch pakket of het watervoerend pakket met behulp van DSI.

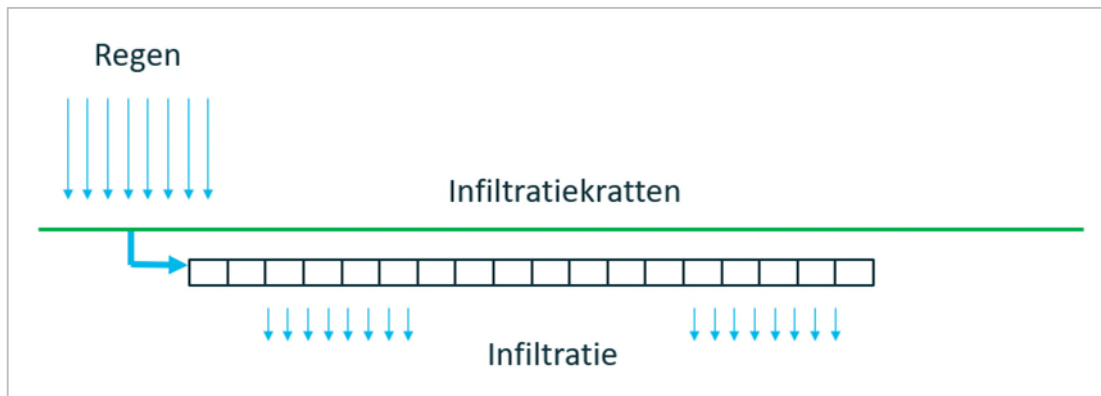


Figuur 44: URS voor hergebruik met lage waterkwaliteit

6.3.4 Standaard Ontwerp: Bufferen en infiltreren

Regenwater wordt opgevangen en gebufferd met een infiltratiekratten systeem, opgebouwd uit WAVIN Q-big Plus kratten. De kratten zijn in een 1 mm dik EPDM membraan gepakt.

Er vindt geen zuivering en hergebruik van water plaats. Er is sprake van infiltratie van ongezuiverd regenwater van regenwaterkwaliteit.

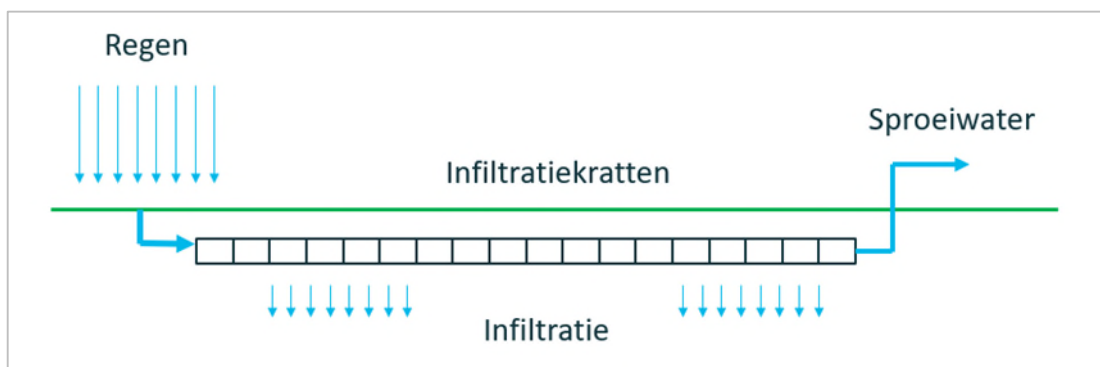


Figuur 45: standaardontwerp voor bufferen en infiltreren

6.3.5 Standaard Ontwerp: Bufferen en hergebruik met lage kwaliteit

Regenwater wordt opgevangen en gebufferd met een infiltratiekratten systeem, opgebouwd uit WAVIN Q-big Plus kratten. De kratten zijn in een 1 mm dik EPDM membraan gepakt.

Er vindt geen zuivering plaats. Het ongezuiverde regenwater wordt hergebruikt als sproeiwater met regenwaterkwaliteit.

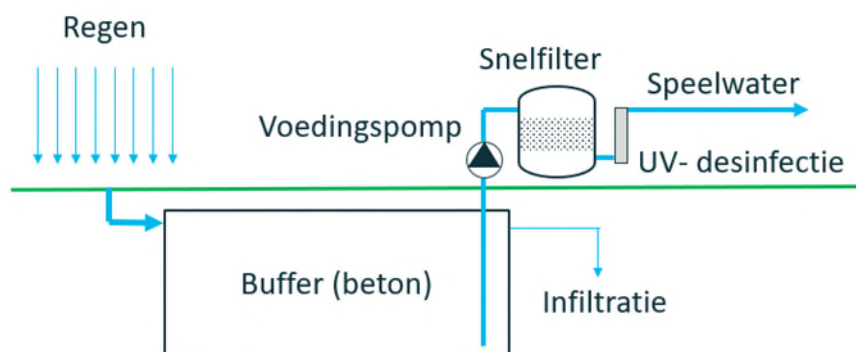


Figuur 46: standaardontwerp voor bufferen en hergebruik met lage waterkwaliteit

6.3.6 Combi-ontwerp: Bufferen en zuiveren (toepassing hoge kwaliteit water)

Regenwater wordt gebufferd in een betonnen bak en hergebruikt na snelfiltratie en UV desinfectie. Het snelfilter met zand van ca. 0,7-1,2 mm, heeft een filtratiesnelheid van 2 m/h en wordt automatisch gespoeld op drukval. De lichtintensiteit van de UV-C desinfectie unit is 30 mW/cm² en doodt bacteriën, virussen, algen en schimmels door het DNA van de micro-organismen te vernietigen. Een voedingspomp perst het regenwater door snelfilter en UV-C unit.

Het gezuiverde regenwater wordt hergebruikt als speel- of brouwwater met zwemwaterkwaliteit. Indien de buffer vol is en overstroomt, zal dit regenwater ongezuiverd geïnfilteerd worden in een freatisch pakket.



Figuur 47: combinatie voor bufferen en zuiveren voor toepassing met hoge waterkwaliteit

6.4 Resultaten analyse

In tabel 27 is het overzicht van de vergelijkende analyse te vinden. Per kenmerk is gekeken of het plaatsen van het technisch ontwerp een bijdrage levert aan de totstandkoming van een circulaire waterketen (zie ook paragraaf 6.2.2).

Op basis van de beoordeling van de technische ontwerpen kan worden vastgesteld dat de Urban Rain Shell (toepassing speel- en brouwwater) de grootste bijdrage levert aan de totstandkoming van een circulaire waterketen op basis van de kenmerken uit het Donut Model. De URS buffert regenwater lokaal en dit water wordt ook lokaal hergebruikt als speel- of brouwwater. Voor negen kenmerken krijgt het de hoogste score en voor slechts twee kenmerken vindt er een afname van de circulariteit van de waterketen plaats. Als een ontwerp bijvoorbeeld negatief scoort op volksgezondheid betekent dit dat ten opzichte van het gebruik van drinkwater er mogelijk risico's kunnen ontstaan. Dat wil niet direct zeggen of er ook negatieve gezondheidseffecten zullen optreden. Het is wel een indicatie dat er aandacht voor moet zijn, en er eventueel maatregelen genomen kunnen/moeten worden, om de risico's te beheersen. Het is aan besluitvormers in een lokale context om te bepalen welke toepassing van een technisch ontwerp het beste geplaatst wordt en ook welke afweging zij willen maken ten aanzien van de scores op de kenmerken (zie ook paragraaf 6.4.17).

In de volgende paragrafen (6.4.1. t/m 6.4.17) is voor elk van de kenmerken uitgewerkt waarom een technisch ontwerp een bepaalde score is toegekend.

Tabel 27. Vergelijkende analyse en beoordeling technische ontwerpen op basis van het Donut Model voor de Circulaire Waterketen.

| | Kenmerken Donut model | Geen toepassing | URS. Bufferen en benutten regenwater | Buffertank met zuivering. Bufferen en benutten regenwater | URS. Bufferen en benutten regenwater | Kratten. Bufferen en benutten regenwater | Kratten. Bufferen en infiltreren |
|------------------------|---|-----------------|---|--|--|---|--|
| | | | Innovatief ontwerp voor hergebruik voor speel- of brouwwater (zwemwaterkwaliteit) | Combi Ontwerp, hergebruik voor speel- of brouwwater (zwemwaterkwaliteit) | Innovatief ontwerp voor hergebruik sproei- of bluswater (sproeiwaterkwaliteit) | Standaard ontwerp, hergebruik voor sproei- of bluswater (regenwaterkwaliteit) | Standaard ontwerp, geen hergebruik van water (regenwaterkwaliteit) |
| Energie en Stofstromen | Energieverbruik | | ++ | + | ++ | ++ | ++ |
| | Grondstoffen- en Waterverbruik | | - | -- | - | - | - |
| | Terugwinning Energie | N.v.t. | N.v.t. | N.v.t. | N.v.t. | N.v.t. | N.v.t. |
| | Terugwinning grondstoffen en water | | ++ | ++ | + | + | 0 |
| | Gebruik duurzame energie | N.v.t. | Mogelijk, maar n.v.t. | Mogelijk, maar n.v.t. | Mogelijk, maar n.v.t. | Mogelijk, maar n.v.t. | Mogelijk, maar n.v.t. |
| | Gebruik duurzame grondstoffen- en water | | ++ | 0 | ++ | + | + |
| Systeemeigensch | Zelfvoorzienendheid | | + | 0 | ++ | + | + |
| | Hergebruiks-potentie en -adaptiviteit | | ++ | 0 | ++ | 0 | 0 |
| | Financiële waarde | | + | - | + | - | -- |
| | Integraliteit | | ++ | ++ | ++ | ++ | + |
| | Ecologische waarde | | ++ | 0 | ++ | 0 | 0 |
| Waarde voor | Volksgezondheid | | -- | 0 | - | -- | N.v.t. |
| | Veiligheid | | + | + | + | + | + |
| | Inclusiviteit | | ++ | + | + | 0 | 0 |
| | Comfort | | ++ | + | ++ | 0 | - |
| | Kwaliteit van de leefomgeving | | ++ | -- | + | - | - |

Disclaimer: Dit overzicht geeft een generieke beoordeling van de technische ontwerpen weer. Het inpassen van deze technische ontwerpen vraagt altijd om maatwerk en beoordeling ten aanzien van specifieke lokale omstandigheden. Scores over de bijdrage van een technisch ontwerp aan een lokale circulaire waterketen kunnen dus anders zijn verschillende lokale situaties.

6.4.1 Energieverbruik

Dit aspect is beoordeeld door te kijken naar het energieverbruik van de productie en het transport van de materialen en water en energieverbruik tijdens de aanleg, operatie en beheer van het technische ontwerp.

Het is voor deze studie niet haalbaar of wenselijk om het energieverbruik voor de realisatie en beheer van de technische ontwerpen (kleinschalig systeem) ten opzichte van de nul-situatie (centraal systeem) te berekenen. Er is ingeschat dat het gebruik van lokale technische ontwerpen het energieverbruik vermindert. De productie, verwerking en transport (denk 50m³) van regen- en drinkwater naar de RWZI en door een drinkwaterbedrijf kosten veel energie. Regenwater wordt nu lokaal opgevangen en gebufferd, waardoor het water niet rondgepompt en opgewerkt hoeft te worden. De inschatting is daardoor dat het lokaal bufferen en zuiveren van water zorgt voor een toename van de circulariteit van een waterketen. Het toepassen van lokale decentrale systemen legt minder druk op de grotere systemen in de waterketen.

Met de realisatie en het beheer van lokale technische systemen wordt ook energie verbruikt. In bijlage X is uitgebreid beschreven voor welke materialen en activiteiten van de technische ontwerpen (productie, transport, operatie en beheer) energie wordt verbruikt. Het energieverbruik is vergelijkbaar, maar bij de buffertank zijn uitschieters vanwege de productie van beton en het gebruik van UV lampen. Om deze reden is beoordeeld dat de URS en de kratten hoog scoren en zorgen voor een toename van de circulariteit van de waterketen. Het totale energieverbruik vermindert ten opzichte van de nul-situatie. De buffertank scoort iets lager, maar nog steeds beter dan de nul-situatie en zorgt voor een kleine bijdrage aan de circulariteit van de waterketen.

6.4.2 Grondstoffen en Waterverbruik

Dit aspect is beoordeeld door te kijken naar het grondstoffen- en waterverbruik van de productie en het transport van de materialen en waterverbruik tijdens de aanleg, operatie en beheer van het technische ontwerp.

Het is voor deze studie niet haalbaar of wenselijk om het grondstoffen- en waterverbruik voor de realisatie en beheer van de technische ontwerpen (kleinschalig systeem) ten opzichte van de nul-situatie (centraal systeem) te berekenen. In de nul-situatie wordt drinkwater gebruikt voor de verschillende toepassingen. Bij het produceren van drinkwater worden andere soorten materialen (marmer, actieve kool, membranen, zand) gebruikt dan bij het lokaal op- en verwerken van regenwater (folie, leidingmateriaal, schelpen, kunststof, beton etc.). Om dezelfde hoeveelheid water te produceren en te verwerken kan het vanwege schaalvoordelen zijn dat het aanleggen van een drinkwaterzuivering om minder grondstoffen zou vragen dan de technische ontwerpen. Om deze reden is beoordeeld dat de technische ontwerpen over het algemeen lager scoren dan de nul-situatie en dat er sprake zou zijn van een afname van de circulariteit van de waterketen. Bij deze beoordeling is niet gekeken naar kritische materialen die nodig zijn voor realisatie en/of beheer.

Er zijn wel verschillen tussen de technische ontwerpen onderling. De URS en de kratten verbruiken ongeveer evenveel materiaal. De kratten moeten één keer vervangen worden in 50 jaar, maar de URS is twee keer zo groot (dit komt doordat er minder water per m³ ruimte wordt opgeslagen). Om deze reden is beoordeeld dat de circulariteit van de waterketen beperkt afneemt. Aan de buffertank met zuivering (het combi-ontwerp) is een lagere score toegekend, omdat het zuiveringssysteem vervangen moet worden (de zuivering gaat 25 jaar mee). Het scoort lager dan de nul-situatie en de technische systemen, omdat er wél een nieuwe systeem wordt aangelegd waarbij materialen worden gebruikt tijdens de bouw. Daarnaast moeten het filterzand en de UV lampen vervangen worden. Het inzetten van dit technische ontwerp zorgt voor een grotere afname aan de circulariteit van de waterketen.

6.4.3 Terugwinning Energie

Er wordt geen energie teruggewonnen met deze systemen.

6.4.4 Terugwinning grondstoffen en water

Dit aspect is beoordeeld door te kijken naar de (type) grondstoffen- en het water dat wordt teruggewonnen tijdens de bouw en operatie van het technische ontwerp.

Er worden geen grondstoffen teruggewonnen met technische ontwerpen, maar er wordt wel water teruggewonnen. De beoordeling is daarom gericht op het *hergebruik van regenwater*. Alle technische ontwerpen die gericht zijn op het hergebruiken van regenwater zorgen om deze reden voor een toename van de circulariteit van de waterketen.

De toepassingen die gericht zijn op terugwinning van water voor *zwemwaterkwaliteit* (voor brouwtoepassingen moet dit water wel nog worden opgewerkt naar drinkwaterkwaliteit⁷) krijgen de hoogste score omdat het water voor hoogwaardige toepassing wordt ingezet. Dat zijn dus de URS toegepast voor speel- en brouwwater en de buffertank met zuivering. De URS toegepast voor sproei- of bluswater en de kratten waarbij regenwater wordt hergebruikt als sproeiwater worden iets lager beoordeeld, maar beter dan de nul-situatie. Geen hergebruik van water is ook geen terugwinning en dus gelijk aan de nul-situatie.

6.4.5 Gebruik duurzame energie

Het is mogelijk om duurzame energie te gebruiken, maar dit is niet meegenomen in de analyse, omdat dit voor alle situaties geldt (inclusief de 0-situatie).

6.4.6 Gebruik duurzame grondstoffen en water

Dit aspect is beoordeeld door te kijken naar het gebruik van duurzame materialen van de technische ontwerpen.

Over het algemeen zijn de grondstoffen die worden gebruikt bij de verwerking van regenwater of productie van drinkwater (in de nul-situatie) minder duurzaam. Al worden er steeds meer grondstoffen hergebruikt in eigen productieprocessen - kalk uit het onthardingsproces wordt bijvoorbeeld gebruikt in een marmerfilter. Om deze reden is beoordeeld dat het in gebruik nemen van de technische ontwerpen over het algemeen zorgt voor een toename van de circulariteit van de waterketen.

Voor de URS is beoordeeld dat er een grote toename is van de circulariteit van de waterketen, omdat voornamelijk duurzame materialen worden gebruikt. Voor de kratten is beoordeeld dat de circulariteit van de waterketen in kleine mate toeneemt. Dit omdat er hergebruikt kunststof wordt gebruikt. Voor de buffertank is beoordeeld dat er geen sprake is van een toename van circulariteit, omdat er geen duurzame materialen kunnen worden gebruikt. Gerecycled beton is bijvoorbeeld niet aan te raden voor deze toepassing. Milieudienst Rijnmond (2022) geeft aan dat het gebruik van gerecycled beton, ondanks een certificaat, risico's met zich meebrengt voor bodem en grondwater.

6.4.7 Zelfvoorzienendheid

Voor dit aspect is verkend in hoeverre het in gebruik nemen van het technische ontwerp er voor zorgt dat waterschappen, waterbedrijven, de gemeente en/of burgers in de beheerfase minder afhankelijk zijn van andere organisaties, landen en bronnen voor de toevoer van grondstof en energie.

Over het algemeen wordt de waterketen meer zelfvoorzienend door het in gebruik nemen van lokale technische systemen omdat burgers minder afhankelijk zijn van waterschappen voor het voorkomen van wateroverlast. De technische ontwerpen hebben wel onderhoud nodig. In het geval van de URS is de onderhoudsbehoefte beperkt. In het geval van de kratten is deze matig en in het geval van de buffertank zal er vaker onderhoud gepleegd moeten worden.

In het geval van de toepassingen voor speel- en brouwwater (URS en buffertank) is het wel nodig om de waterkwaliteit te controleren en is er dus ook sprake van afhankelijkheid van iemand die het water monitort. Dit is het nodig bij toepassing van de technische ontwerpen voor sproeiwater (URS en kratten) en infiltratie (kratten).

Voor de URS voor speel- en brouwwater is daarom beoordeeld dat er een beperkte toename is van de circulariteit van de waterketen. Voor de URS sproei- en bluswater geldt dat er een hoge toename is van de circulariteit van de waterketen.

⁷ Deze extra maatregelen vallen niet binnen de systeemgrens die in dit rapport is gehanteerd. De toepassing voor dranken (bier en ijsthee) is dan ook niet meegenomen in deze analyse

Voor de kratten geldt ook een toename van de circulariteit van de waterketen. Voor de buffertank (speel- en brouwwater) is beoordeeld dat er geen toename is van de circulariteit van de waterketen. Dit technische ontwerp heeft onderhoud en monitoring nodig is.

6.4.8 Hergebruikspotentie en adaptiviteit

Dit aspect is beoordeeld door te kijken naar de aanpasbaarheid (verandering van taak), veelzijdigheid (verandering van vorm of ruimte⁸); Vervangbaarheid (verandering van prestatie), omvormbaarheid (verandering van gebruik), schaalbaarheid (verandering van formaat⁹) en verplaatsbaarheid (verandering van locatie) van (onderdelen van) het technische ontwerp.

Alleen in het geval van het toepassen van de URS is er sprake van een toename van de circulariteit van de waterketen. De URS is namelijk *verplaatsbaar, veelzijdig, schaalbaar, én omvormbaar*, waardoor er een grote toename is van de circulariteit van de waterketen. De andere technische ontwerpen zijn vergelijkbaar met de nul-situatie. De onderdelen uit deze systemen zijn namelijk alleen *omvormbaar*, hetgeen betekent dat er sprake is van downcycling van de materialen. Deze worden omgevormd tot materialen voor een ander gebruik, waarbij veel energie wordt verbruikt.

6.4.9 Financiële waarde

Dit aspect is beoordeeld door te kijken naar de betaalbaarheid van het technische ontwerp, de betaalbaarheid van de waterketen (drinkwaterprijs en waterschapsbelasting) en ook of de kosten (schade) in de toekomst worden afgewend door het technische ontwerp.

Het toepassen van de technische ontwerpen brengt positieve of negatieve financiële waarden met zich mee doordat klimaatschade kan worden beperkt en/of drinkwaterkosten worden uitgespaard (zie bijlage IX en X) voor een precieze uitwerking). Er wel kosten gemaakt voor de bouw, aanleg, vervanging en operatie van de systemen.

Voor de URS geldt dat er sprake is van een (kleine) toename van de circulariteit van de waterketen omdat de financiële waarde toeneemt. De kosten voor de bouw, de aanleg, vervanging en operatie van het technische ontwerp bedragen €47.418, maar klimaatschade wordt beperkt en er worden ook drinkwaterkosten uitgespaard. De schatting is dat het toepassen van dit ontwerp €17.143 aan positieve financiële waarde met zich mee brengt. Bij het toepassen van de kratten zonder hergebruik van het regenwater is er sprake van een grote negatieve financiële waarde. De investeringskosten zijn hoog en klimaatschade wordt beperkt, maar er worden geen drinkwaterkosten bespaard. In het geval van de kratten met hergebruik en de buffertank neemt de circulariteit van de waterketen door de kosten van het technisch ontwerp ook af ten opzichte van de nul-situatie, maar minder dan bij de kratten zónder hergebruik. Er worden namelijk wel drinkwaterkosten uitgespaard.

6.4.10 Integraliteit

Dit aspect is beoordeeld door te kijken naar het aantal doelen waar het technische ontwerp een bijdrage aan levert of uitdagingen waarvoor het een oplossing aandraagt (zoals de energietransitie, klimaatadaptatie, voedselproductie, natuurbescherming, mobiliteit, klimaat).

Over het algemeen zorgt het aanleggen van de technische ontwerpen voor een toename van de circulariteit van de waterketen. In het geval er geen maatregelen worden genomen, worden er namelijk geen uitdagingen (zoals wateroverlast, droogte en hittestress of waterschaarste) aangepakt.

De URS, de kratten met hergebruik van regenwater en ook het combi-ontwerp (buffertank met zuivering) krijgen een zeer positieve score, omdat ze bijdragen aan twee uitdagingen namelijk klimaatadaptatie (wateroverlast en hittestress) en

⁸ De URS kan in bijvoorbeeld een T- of L-vorm worden neergelegd.

⁹ Doordat de URS gebruik maakt van schelpen kunnen ze op verschillende manieren in de grond worden gelegd. Het is mogelijk ze diep of ondiep, of meer of minder verspreid neer te leggen.

circulariteit (hergebruik van water). Deze toepassingen zorgen voor een grote toename aan de circulariteit van de waterketen. Het inzetten van kratten draagt alleen bij aan één opgave, namelijk klimaatadaptatie (wateroverlast en hittestress), en krijgt een positieve score en draagt ook bij aan de circulariteit van de waterketen, maar minder dan de andere ontwerpen.

6.4.11 Ecologische waarde

Het aspect ecologische waarde is in deze analyse beoordeeld door te kijken naar de impact van droogte op en de gevolgen van verontreinigingen voor het (lokale) natuur- en watersysteem.

Het aanleggen van een URS zorgt voor de grootste toename van circulariteit aan de waterketen, omdat er door buffering sprake is van droogtebestrijding en door zuivering met de mineralenmix minder verontreinigen in de natuur terechtkomen. De andere technische ontwerpen dragen ook bij aan droogtebestrijding, maar doordat de verontreinigingen juist meer geconcentreerd in de bodem infiltreren of in het oppervlaktewater terechtkomen, heeft dit ook negatieve consequenties. Zowel in het geval van de kratten als ook de buffertank wordt het water, dat infiltreert bij overstort, namelijk niet gezuiverd. Om deze reden is beoordeeld dat de kratten en de buffertank niet bijdragen aan de circulariteit van de waterketen.

6.4.12 Volksgezondheid

Dit aspect is beoordeeld door te kijken naar de mate waarin het toepassen van het technische ontwerp meer, minder of gelijke risico's voor de volksgezondheid met zich meebrengt dan toepassing van centraal gezuiverd drinkwater. Het bewaken van de risico's voor de volksgezondheid is essentieel voor het sociaal fundament – toegang tot (drink)water – en is dus belang voor de circulariteit van de waterketen.

Over het algemeen zorgt het benutten van het hergebruikte water voor een afname van de circulariteit van de waterketen omdat de risico's voor de volksgezondheid toenemen door het gebruik van regenwater. Dit komt doordat voor toepassingen waar in de nul-situatie drinkwater voor wordt gebruikt (nagenoeg nul risico), nu regenwater wordt gebruikt – al dan niet gezuiverd. Over het algemeen is het gebruik van ander water voor ander type gebruik positief te beoordelen, maar het brengt dus risico's met zich mee ten aanzien van het aspect 'volksgezondheid'.

Voor de URS geldt dat er verhoogde gezondheidsrisico's zijn bij het hergebruik van regenwater in het geval van speel of brouwwater (grote afname circulariteit). Het water is biologisch veiliger, maar er is geen garantie dat er zwemwaterkwaliteit wordt bereikt. Bij de toepassing voor blus- en sproeiwater zijn deze risico's lager (kleine afname circulariteit). In het geval van de kratten wordt het opgevangen regenwater niet hergebruikt (n.v.t.) óf hergebruikt voor sproei- of bluswater. In het laatste geval zijn er grotere risico's voor de volksgezondheid (grote afname circulariteit) omdat er met water dat 'regenwaterkwaliteit' gesproeid en geblust wordt en mensen verneveling (aerosolen) kunnen inademen. Omdat er geen zuivering plaatsvindt wordt er water gebruikt waar in hogere concentraties PAK's of oliën aanwezig kunnen zijn (zie ook ecologische waarde). In het geval van de buffertank is er sprake van een intensieve zuivering waardoor 'zwemwaterkwaliteit' gegarandeerd zou kunnen worden, waarvoor dan wel extra metingen over een langere periode nodig zijn. Dit betekent dat er minder gezondheidsrisico is, maar dat er nog steeds een kans is dat mensen ziek worden (10-20% kans per keer) bij het benutten van dit hergebruikte water voor speel- en brouwwater. Om deze reden is beoordeeld dat er geen afname is van de circulariteit van de waterketen. Het regenwater kan lokaal worden benut voor een relevante toepassing en het risico voor de volksgezondheid is beperkt.

6.4.13 Veiligheid

Dit aspect is beoordeeld door te kijken naar de mate waarin het toepassen van het technische ontwerp voor de (water)veiligheid met zich meebrengt.

Bij het in gebruik nemen van de vijf deze technische ontwerpen is er een toename in de circulariteit van de waterketen omdat wateroverlast – en daarmee de kans op overstromingen – kan worden beperkt. In dit geval zijn alle ontwerpen beoordeeld met een kleine toename, omdat er een buffercapaciteit is van 50m³ en een afkoppeling van 1000 m². Bij grotere buffercapaciteit, nemen de overstromingsrisico's af en de circulariteit van de waterketen toe. Risico's ten aanzien

van de kwaliteit van het water (zoals microbiologische risico's) zijn meegewogen onder volksgezondheid en ecologische waarde.

6.4.14

6.4.15 Inclusiviteit

Voor dit aspect is beoordeeld in hoeverre het technische ontwerp mensen betreft bij het hergebruik van het regenwater of het bewustzijn over de waterketen vergroot.

In het geval van een publieke toepassing, zoals bij de URS voor speelwater en het combi-ontwerp voor speelwater is het mogelijk om meerdere groepen mensen te bereiken. Indien er actief gecommuniceerd wordt over de buffering en het hergebruik van water neemt de inclusiviteit toe. Omdat de URS in tegenstelling tot het combi-ontwerp niet volledig in de grond hoeft te liggen, scoort de URS hoger op inclusiviteit. Het hergebruik van water en de werking van het zuiveringssysteem is eerder duidelijk voor het publiek.

Het functioneel hergebruiken van water (sproei- en bluswater), zoals in het geval van hergebruik van het water uit de kratten en de URS kan zorgen voor meer bewustzijn over waterketen bij een selecte groep mensen en gebruikers. In het geval van de URS is het ontwerp zichtbaarder en wordt er gecommuniceerd over het hergebruik van het regenwater. In het geval van sproeiwater uit de kratten gebeurt dit doorgaans niet en is er ook geen of weinig sprake van het betrekken van gebruikers. Er is beoordeeld dat circulariteit van de waterketen gelijk blijft. Zoals ook in het geval van de kratten zonder hergebruik.

6.4.16 Comfort

Voor dit aspect is beoordeeld in hoeverre het technisch ontwerp zorgt voor meer comfort bij gebruikers of omwonenden door te ontzorgen, het verminderen/voorkomen van overlast, verhoogd gebruiksgemak of grotere klanttevredenheid.

Door het in gebruik nemen van de technische ontwerpen is er meer comfort door minder wateroverlast, maar omwonenden en gebruikers worden wel geconfronteerd met andere (on)gemakken. De beoordeling van de circulariteit van de waterketen varieert daardoor.

In het geval van de URS voor speelwater is er verhoogd comfort door speelplezier, een kleinere kans op stankoverlast en eenvoudig beheer. In het geval van de URS voor sproeiwater is er verhoogd comfort door lokale buffering voor sproeien, een kleinere kans op stankoverlast en eenvoudig beheer. Door de URS neemt de circulariteit van de waterketen in grote mate (speel- en brouwwater) en kleine mate (sproeiwater) toe. In het geval van de kratten voor buffering is er sprake van en grotere kans op stankoverlast, geen hergebruik en weinig gebruiksgemak bij het beheer. Hierdoor neemt het comfort en ook de circulariteit van de waterketen af ten op zichte van de nul-situatie. In het geval van kratten met hergebruik is er meer comfort door het benutten van het regenwater voor sproeien, maar is ook sprake van een grotere kans op stankoverlast en weinig gebruiksgemak. De circulariteit van de waterketen blijft gelijk. Bij de buffertank is er sprake van toename van comfort door speelplezier, een kleinere kans op stankoverlast, maar is er verlaagd gebruiksgemak doordat het beheer gekwalificeerd personeel nodig heeft. Er is een kleine toename van de circulariteit van de waterketen.

6.4.17 Kwaliteit van de leefomgeving

Voor de beoordeling van dit aspect wordt gekeken naar de kwaliteit van de leefomgeving in de boven- en ondergrond.

De URS voor speelwater vergroot de circulariteit van de waterketen. De URS kan zichtbaar worden ontworpen, de bovengrondse leefomgeving wordt hierdoor aantrekkelijker en er hoeft niet noodzakelijk conflict op te treden in de ondergrond. In het geval van de URS voor sproei- en bluswater is er een kleine toename van de circulariteit van de waterketen, omdat de aantrekkelijkheid van de bovengrondse leefomgeving gelijk blijft door de functionele toepassing. Het in gebruik nemen van kratten zorgt voor een kleine afname van de circulariteit van de waterketen. De bovengrondse leefomgeving blijft gelijk, maar in de ondergrond kan er een conflict ontstaan in relatie tot de kabels en leidingen. Het kan

zijn dat kratten dieper in de ondergrond moeten worden aangelegd waardoor de kans op conflict in de ondergrond toeneemt. In het geval van de buffertank is er sprake van een grote afname van de circulariteit van de leefomgeving omdat zowel de bovengrond minder aantrekkelijk wordt door de installatie en de buffertank conflict in de ondergrond kan veroorzaken.

6.4.18 Overwegingen bij een besluit voor een technisch ontwerp

Stakeholders hebben verschillende motieven en belangen bij het kiezen voor een technisch ontwerp voor het bufferen, zuiveren en hergebruik van regenwater. Voor de één is het belangrijk dat piekbuien goed worden opgevangen, voor een ander is het reduceren van het gebruik van drinkwater belangrijk. Verschillende stakeholders kunnen gebaat zijn bij het toepassen van een technische ontwerp dat meerdere doelen beoogd, zoals de URS, maar voor deze stakeholders zijn niet dezelfde kenmerken doorslaggevend bij het maken een besluit. In de werksessie is aan stakeholders gevraagd welke kenmerken uit het Donut Model voor hen het belangrijkste zouden zijn bij het kiezen voor een technisch ontwerp voor buffering en zuivering. De inzichten zijn gepresenteerd in Tabel 28. Kosten/Financiële waarden blijken voor velen het belangrijkste, maar ook andere kenmerken worden ook als belangrijk genoemd. Een gezamenlijke investering zou voor een oplossing kunnen zorgen waarmee meerdere doelen voor verschillende stakeholders worden bereikt.

Tabel 28. Inzichten in belangen en weefactor ten aanzien van kenmerken uit het Donut Model

| Stakeholder | Naam en organisatie | Belang en weefactor kenmerken Donut Model | Opmerkingen |
|--|--|--|--|
| Aannemer | Christiaan Stout | <ul style="list-style-type: none"> • Kosten/Financiële waarde • Volksgezondheid • Waterkwaliteit | <ul style="list-style-type: none"> • Veel mitsen en maren in de beoordeling • Niet alles is consequent doorgevoerd |
| Adviesbureau | Ivo Tanis <i>Buro Regen & Water</i> | | <ul style="list-style-type: none"> • Waardevol om verschillende concepten te beoordelen op basis van dit model |
| Assetbeheer | Christina <i>Gemeente Amsterdam</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Kosten/Financiële waarde • Kwaliteit van de Leefomgeving • Gezondheid | <ul style="list-style-type: none"> • Bufferen voor groen • Onderhoud • Miste het rockflow systeem¹⁰ in de analyse |
| Waterschap en Drinkwaterbedrijf | Torben <i>Waternet</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Grondstoffen- en waterverbruik • Terugwinning grondstoffen en water • Hergebruikspotentie en adaptiviteit • Integraliteit & multifunctionaliteit • Ecologische waarde • Kwaliteit van de leefomgeving | Verschillende opgaven <ul style="list-style-type: none"> • Drinkwaterreductie (hergebruik regenwater) • Infiltreren vervuiling in de stad voorkomen • Hydrologisch functioneren (zuiveren en afgeven) |
| Infrastructuur voor afvalwaterzuivering (riolen, collectoren, pompstations en rioolwaterzuiveringen) | Birgit <i>Aquafin</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Kosten/Financiële waarde | <ul style="list-style-type: none"> • Onderhoudsvriendelijk • In Belgisch beleid is de veronderstelling dat regenwater schoon is • In Vlaanderen innoveren ze minder snel |

¹⁰ <https://www.rockwool.com/nl/toepassingen/rockflow/dit-is-hoe-rockflow-werkt/>

6.5 Discussie

De vergelijkende analyse van de technische ontwerpen voor bufferen en zuiveren ten opzichte van de nul-situatie maakt inzichtelijk op welke wijze de verschillende systemen bijdragen aan de circulaire waterketen. Het inrichten van een circulaire waterketen is een ambitie/doel waar verschillende kleine en grote wateroplossingen een bijdrage aan kunnen leveren. Het vergelijken van verschillende technische ontwerpen is geen eenduidige klus, maar een dergelijke analyse is wel belangrijk om innovatieve en conventionele overwegingen vanuit een breder en circulair perspectief te beoordelen. Bovendien geeft de analyse inzicht in de positieve en negatieve impact die een technisch ontwerp met zich mee kan brengen. Met deze analyse is ingeschat in hoeverre het in gebruik nemen van een technisch ontwerp een bijdrage levert aan de circulaire waterketen van een gemiddelde Nederlandse gemeente.

De uitgangspunten en aannames die gedaan zijn voor de ontwerpen in dit onderzoek maken de analyse realistisch, maar de uitkomsten zijn niet voor elke situatie bruikbaar. Allereerst is in dit onderzoek uitgegaan van een technisch ontwerp dat 50m³ regenwater kan verwerken, maar het is mogelijk dat de scores voor een ontwerp dat 200m³ regenwater verwerkt anders uitvallen. Denk aan het energie- of grondstoffenverbruik of de investerings- en exploitatiekosten. Daarnaast is het ook belangrijk om te noemen dat lokale (fysieke en sociale) omstandigheden, op wijkniveau, bepalend zijn voor de beoordeling van het inzetten van een technisch ontwerp voor buffering en zuivering. Lokale uitdagingen ten aanzien van wateroverlast en/of hitte, maar ook de ruimtelijke inrichting van een gebied en plaatsing van de technisch ontwerp zijn belangrijk om in ogenschouw te nemen bij een beoordeling. Niet overal valt evenveel regen en niet overal heeft dit dezelfde consequenties tot gevolg. Een ander voorbeeld is dat er ook verschillen zijn ten aanzien van de drukte in de ondergrond. Bij veel drukte in de ondergrond kan het een voordeel zijn dat de URS flexibeler is in aanleg dan een buffertank, maar in een andere omgeving maakt dit geen verschil. Het is tot slot relevant om te duiden dat onderzoekers in overleg met de projectgroep keuzes hebben gemaakt ten aanzien van de technische ontwerpen, maar dat in veel gevallen maatwerk mogelijk is. Deze mogelijkheden voor maatwerk bepalen ook de mate waarin een technisch ontwerp kan bijdragen aan de circulaire waterketen.

De vergelijkende analyse die in dit onderzoek is uitgevoerd is niet allesomvattend, maar laat zien welke positieve en negatieve impact het in gebruik nemen van een technisch ontwerp met zich mee kan brengen. De beoordeling op basis van het Donut Model laat zien op welke wijze een ontwerp bijdraagt aan een (lokale) circulaire waterketen en maakt inzichtelijk welke negatieve gevolgen nog verholpen of beperkt moeten worden. Het is bij het gebruik regenwater bijvoorbeeld vrijwel onmogelijk om een garantie te geven voor de volksgezondheid, zoals bij het gebruik van drinkwater, maar extra maatregelen zouden deze risico's wel minimaliseren. De uitwerking van deze analyse maakt afwegingen inzichtelijk en uiteindelijk is het aan besluitvormers om te bepalen welke aspecten doorslaggevend zijn bij het kiezen voor een technisch ontwerp. In paragraaf 6.4 is terug te lezen wat verschillende organisaties, betrokken bij dit onderzoek, mee zouden wegen bij hun besluit. In dit onderzoek worden geen uitspraken gedaan over het 'beste ontwerp' of de optimale keuze voor een 'ontwerp'.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Hoewel er verschillende wet- en regelgeving bestaat die relevant kan zijn voor de toepassing van de URS en het hierdoor gefilterde water, zijn er weinig concrete regels gesteld. Bijvoorbeeld voor speelwater bestaan nog geen duidelijke regels, maar wel aanbevelingen. De waterkwaliteit in dit onderzoek is daarom, afhankelijk van het type toepassing, gerelateerd aan het infiltratiebesluit bodembescherming, een Vlaamse regeling voor irrigatiewater (die bestaat in Nederland (nog) niet) en de kwaliteitseisen voor zwemwater. In alle gevallen leverde dit niet direct problemen op, al moet wel worden aangekend dat niet kon worden vastgesteld of het water aan de kwaliteitseisen voor zwemwater voldoet. Hiervoor moeten namelijk over een langere periode meer analysedata verzameld worden.

Uit een analyse van de data blijkt wel dat over het algemeen de URS in staat is om zware metalen en PAKs uit afstromend regenwater te verwijderen. Ook deeltjes (troebelheid) worden goed verwijderd. Dit kan van belang zijn als het water via diepte-infiltratie in de bodem wordt gebracht, omdat het dichtslibben van de infiltratieput voorkomt, of als bijvoorbeeld desinfectie met behulp van UV-straling wordt toegepast als nabehandeling. De gehalten aan natrium, kalium, magnesium, calcium, chloride en sulfaat (en daarmee samenhangend de elektrische geleidbaarheid) nemen toe door filtratie in de URS, wat veroorzaakt wordt door het oplossen van zout en/of schelpen. Dit hoeft voor de toepassing geen probleem te zijn. Bovendien neemt het gehalte aan zouten na enkele keren doorspoelen van het filter wel af. Er treedt enige mate van desinfectie op, waardoor in de meeste gevallen zwemwaterkwaliteit zou kunnen worden bereikt. Dit moet wel dan officieel worden vastgesteld aan de hand van een uitgebreidere dataset over een langere periode. In een aantal gevallen is legionella aangetroffen in in- of effluent.

In de meeste pilots was de doorstroming van de pilots goed. In twee pilots (Wetteren en Den Helder) was de doorstroming van de URS echter beperkt. Dit werd in Wetteren veroorzaakt door het hydraulische ontwerp, dat ook niet gericht was op die doorstroming, maar op een beperkte hoeveelheid water voor gebruik. Hierdoor waren de verblijftijden van het water in het systeem lang, en was het niet altijd mogelijk om de kwaliteit van in- en effluent te vergelijken. In Den Helder is de overstort naar de kelder onder het Fort tijdens de proefperiode niet geïnstalleerd. De beperkte doorstroming in deze beide pilots maakte het lastiger de resultaten ervan goed te beoordelen.

Het Donut Model kan worden toegepast om in een bepaalde situatie te bepalen in hoeverre een systeem als de URS bijdraagt aan de circulariteit van een watersysteem. Hiervoor is de URS vergeleken met alternatieve technische ontwerpen voor buffering en/of zuivering van regenwater, die allemaal bijdragen aan het tot stand komen van een circulaire waterketen. In veel gevallen blijkt de URS een positieve bijdrage te kunnen leveren. Het overzicht in dit rapport biedt handvaten en parameters aan besluitvormers waarmee een dergelijke analyse kan worden gemaakt.

7.2 Aanbevelingen

Door het hydraulisch ontwerp van de URS aan te passen zal een hoger debiet mogelijk zijn, waardoor de zuiveringscapaciteit van het systeem beter kan worden vastgesteld. Dit is bij vervolgonderzoek of nieuwe pilots zeker aan te bevelen, met name als er grotere volumes water verwerkt zouden moeten worden.

Aangezien een aantal keer legionella is aangetroffen in in- of effluent van een URS verdient het aanbeveling het ontwerp hiervoor te optimaliseren, en bij gebruik voor speelwater en het versproeien van het water de vorming van aerosolen zoveel mogelijk te voorkomen. Het verdient aanbeveling hier een risicobeheersplan voor op te stellen.

Om te voorkomen dat water stilstaat in het systeem wordt aanbevolen bij het ontwerp er rekening mee te houden dat het systeem regelmatig bij regenval wordt ververs

Diepte-infiltratie van het behandelde water kan een bijdrage leveren aan verdere desinfectie, en zou dus bij bepaalde typen gebruik een voordeel kunnen opleveren. Eventueel zouden ook andere desinfectietechnieken (als UV) kunnen worden toegepast om extra desinfectie te verkrijgen, als de toepassing dit vereist.

Bij toepassing als speelwater verdient het aanbeveling het bovengrondse ontwerp zodanig te maken dat het drinken van het water lastig is, en moet er een sticker met de tekst 'geen drinkwater' worden aangebracht.

Om meer inzicht te krijgen in de desinfectiecapaciteit van het systeem zouden gerichte experimenten hiervoor moeten worden uitgevoerd. Eventueel zou de dimensionering van de URS op basis van de daarmee verkregen inzichten kunnen worden aangepast.

Indien het uitspoelen van zouten uit de URS een probleem kan opleveren bij toepassingen voor irrigatie, verdient het aanbeveling de URS eerst een paar keer volledig door te spoelen, omdat hierdoor het zoutgehalte van het effluent sterk kan worden verlaagd.

In dit onderzoek is een kwalitatieve beoordeling en vergelijking gemaakt van de URS met vergelijkbare alternatieven en een 0-situatie. Om opdrachtgevers in staat te stellen ook een vergelijking te maken op meer kwantitatieve basis, wordt het aangeraden om een LCA voor de URS te laten doorrekenen en in aansluiting daarop de MKI-waarde (Milieu Kosten Indicator) te laten berekenen en te laten registreren bij de Nationale Milieu Database.

9 Referenties

- Boogaard, F.C. and Lemmen, G.B. 2007 Achtergrondrapport Database regenwater. Stowa (ed), Stowa, Zwijndrecht.
- de Baaij, G., Treep, L., Visser, B.M. and van de Wiel, L.A.J.M. 2008 Speelnatuur en veiligheid; richtlijnen en aanbevelingen voor terreinbeheerders, Ministerie van Landbouw, natuur en voedselkwaliteit.
- de Man, H. (2014) Best urban water management practices to prevent waterborne infectious diseases under current and future scenarios. PhD, University of Utrecht, Utrecht, The Netherlands.
- Eijsink, R. 2011 Bluswater en drinkwater,; verbonden in maatschappelijke dienstverlening, Vewin.
- Europese Commissie 2006 Zwemwaterrichtlijn.
- Hofman-Caris, C.H.M. and Bertelkamp, C. 2017 Decentraal zuiveren: mogelijkheden voor gebruik van opgevangen regenwater, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Hofman-Caris, C.H.M., Cirkel, G., De Waal, L., Huiting, H. and de Bruin, E. 2019 Kleinschalige drinkwaterproductie: wanneer is dat haalbaar?, KNW, Amersfoort.
- Hofman-Caris, C.H.M., de Waal, L. and Van Den Brand, T. 2018 Regenwater als bron voor drinkwater: productiekosten en milieuaspecten, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Hofman-Caris, C.H.M., de Waal, L., van den Brand, T., van der Aa, R. and van der Hoek, J.P. Regenwater als bron voor drinkwater in Nederland: weegt milieuwinst op tegen de kosten?, KNW.
- Hofman-Caris, C.H.M., Vreeburg, J., Cirkel, G. and Smeets, P.W.M.H. 2023 Alternatieve bronnen en toepassingen van water, KNW.
- Hofman, J.A.M.H. and Paalman, M. (2014) Rainwater harvesting, a sustainable solution for urban climate adaptation?, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Leenen, I. and De Man, H. 2014 Water in de openbare ruimte heeft risico's voor de gezondheid; een gezondheidsrisicoanalyse voor fontein, bedriegertjes, water op straat en water in wadi's. Stowa (ed), Stowa, Universiteit Utrecht, Amersfoort.
- Medema, G.J. 1999 Microbiologische veiligheid van huishoudwater. voor toepassing van toilet, wassen kleding en buitenkraan., Kiwa Water Research, Nieuwegein.
- Ministerie van Volksgezondheid Welzijn en Sport 2007 Vaststelling reikwijdtenotitie bij Warenwetbesluit attractieen speeltuintoestellen, Ministerie VWS, Den Haag.
- Roest, E. 2020.
- Schets, F.M., de man, H., van Leuken, J.P.G. and de Roda Husman, A.M. 2017 De 'waterkwaliteitscheck' voor nieuwe en bestaande stedelijk waterconcepten; Het belang van aandacht voor de microbiologische kwaliteit van water in de stad, RIVM, Bilthoven.
- Schijven, J.F., colin, M., Dullemond, Y., Hijnen, W.A.M., Magic-Knezev, A., Oorthuizen, W.A., Rutjes, S.A. and De Roda Husman, A.M. 2008 Verwijdering van micro-organismen door langzame zandfiltratie, RIVM, Kiwa Research, Waternet, Het Waterlaboratorium, Duinwaterbedrijf Zuid-Holland, Bilthoven.
- Steketee, J. 2019 Beoordeligen zuiverende werking AA Minerals (type A en D) ten behoeve van de EWB urban Rainshell Ulvenhout, Tauw, Deventer.
- Stofberg, S.F., Hofman-Caris, C.H.M., Pronk, G., Van Alphen, H.J. and Putters, B. 2019 Toekomstverkenning: alternatieve bronnen voor drinkwater in Nederland, KNW, Amersfoort.
- van Bergen, L. Slimme berekening voor hockeyvelden.
- van den Bogaard, J. 2007 Speelwater en GEzondheid; kwaliteit, veiligheid, speelwaarde en regelgeving, GGD Rotterdam-Rijnmond, Rotterdam.
- van Werkhoven, R. 2007 Grondwater als bluswater, pp. 1-80, Nederlandse Vereniging voor Brandweezorg en Rampenbestrijding,.
- Versteegh, J.F.M., Evers, E.G. and Havelaar, A.H. 1997 Gezondheidsrisico's en normstelling voor huishoudwater, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Vlaar, N. 2017 Veranderingen IKK/Nieuw Toezicht, GGD Rotterdam-Rijnmond, Baarn.
- Zuurbier, K.G., Kok, W., Noome, W. and Kuiper, M. 2017 Urban water buffer brengt de stad in waterbalans, pp. 22-23.

I

I Wet- en regelgeving

Besluit Lozing Afvalwater Huishoudens

Artikel 1

In dit besluit en de daarop berustende bepalingen wordt verstaan onder:

- a) bevoegd gezag: burgemeester en wethouders van de gemeente waar het lozen plaatsvindt of de beheerder indien het lozen betreft als bedoeld in [artikel 6.2 van de Waterwet](#);
- b) gebouw: een bouwwerk als bedoeld in [artikel 1, eerste lid, van de Woningwet](#), waaronder mede wordt verstaan een woonschip dat uit hoofde van zijn feitelijke bestemming plaatsgebonden is;
- c) lozen: het brengen van:
 - 1°. afvalwater of andere afvalstoffen, verontreinigende of schadelijke stoffen in een oppervlaktewaterlichaam;
 - 2°. afvalwater of overige vloeistoffen op of in de bodem;
 - 3°. afvalwater of andere afvalstoffen in een openbaar hemelwaterstelsel;
 - 4°. afvalwater of andere afvalstoffen in een openbaar ontwateringsstelsel;
 - 5°. afvalwater of andere afvalstoffen in een openbaar vuilwaterriool;
 - 6°. afvalwater of andere afvalstoffen in een andere voorziening voor de inzameling en het transport van afvalwater, of
 - 7°. afvalwater of andere afvalstoffen met behulp van een werk niet zijnde een voorziening voor de inzameling en het transport van afvalwater op een zuiveringstechnisch werk;
- d) maatwerkvoorschrift: voorschrift als bedoeld in de [artikelen 17, tweede lid](#), en [65 van de Wet bodembescherming](#) en [6.6, tweede lid, van de Waterwet](#), inhoudende:
 - 1°. een beschikking waarbij het bevoegd gezag aanvullende eisen stelt; dan wel
 - 2°. een ontheffing waarbij het bevoegd gezag de daarbij aangewezen bepalingen niet van toepassing verklaart al dan niet onder het stellen van beperkingen of voorwaarden;
- e) Onze Minister: Onze Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer;
- f) voorziening voor het beheer van afvalwater: openbaar vuilwaterriool, openbaar hemelwaterstelsel, openbaar ontwateringsstelsel, andere voorziening voor de inzameling en het transport van afvalwater, zuiveringstechnisch werk of zuiveringsvoorziening;
- g) vuilwaterriool:
 - 1°. openbaar vuilwaterriool;
 - 2°. andere voorziening voor de inzameling en het transport van stedelijk afvalwater, aangesloten op een zuiveringsvoorziening, die blijkt een vergunning als bedoeld in [artikel 6.2, tweede lid, van](#)

[de Waterwet](#) mede voor het zuiveren van stedelijk afvalwater is bedoeld, of aangesloten op een zuiveringstechnisch werk; of

3°. werk, niet zijnde een voorziening voor de inzameling en het transport van afvalwater, aangesloten op een zuiveringstechnisch werk;

- h) woonruimte: ruimte die blijkens haar inrichting bestemd is om als een afzonderlijk geheel te voorzien in woongelegenheid en waarvan de delen blijkens de inrichting van die ruimte niet bestemd zijn om afzonderlijk in gebruik te worden gegeven;
- i) zuiveringsvoorziening: werk voor het zuiveren van afvalwater, dat geen zuiveringstechnisch werk is.

In dit besluit en de daarop berustende bepalingen wordt onder een particulier huishouden mede verstaan:

- a) een woonschip dat uit hoofde van zijn feitelijke bestemming plaatsgebonden is, en
- b) een voor recreatiedoeleinden bestemde woonruimte die geen onderdeel uitmaakt van een inrichting als bedoeld in [artikel 1.1, vierde lid, van de Wet milieubeheer](#).

Artikel 1a

Dit besluit berust mede op de [artikelen 6.2, eerst lid, onderdeel b, en tweede lid, onderdeel b, 6.6 en 6.7 van de Waterwet](#).

Hoofdstuk 2. Algemene bepalingen ten aanzien van het lozen vanuit particuliere huishoudens

Artikel 2

1. Vrijstelling van het verbod, bedoeld in [artikel 10.2, eerste lid, van de Wet milieubeheer](#), wordt verleend voor het lozen vanuit een particulier huishouden op of in de bodem.
2. De verboden, bedoeld in [artikel 6.2 van de Waterwet](#), gelden niet voor het lozen vanuit een particulier huishouden in een oppervlaktewaterlichaam.
3. Degene die loost vanuit een particulier huishouden, voldoet aan de regels die bij of krachtens dit besluit zijn gesteld.
4. Dit besluit is niet van toepassing op:
 - o a. het lozen vanuit een inrichting;
 - o b. het in een oppervlaktewaterlichaam:
 - 1°. in een werk aanbrengen of houden van bouwstoffen;
 - 2°. aanbrengen, verspreiden of tijdelijk opslaan van grond of baggerspecie alsmede het houden van die aangebrachte of tijdelijk opgeslagen grond of baggerspecie;
 - o c. het lozen in een oppervlaktewaterlichaam ten gevolge van reinigingswerkzaamheden, conserveringswerkzaamheden of andere onderhoudswerkzaamheden aan vaste objecten en sloop-, renovatie- of nieuwbouwwerkzaamheden aan vaste objecten als bedoeld in de [artikelen 3.10 en 3.11 van het Besluit lozen buiten inrichtingen](#);
 - o d. het lozen vanuit een proefbronnering in het kader van een saneringsonderzoek in de zin van de [Wet bodembescherming](#) en het lozen vanuit een bodemsanering in de zin van de [Wet bodembescherming](#);
 - o e. het lozen buiten een inrichting ten gevolge van een gesloten bodemenergiesysteem als bedoeld in het [Activiteitenbesluit milieubeheer](#) en het [Besluit lozen buiten inrichtingen](#).

Artikel 3

1. Lozen op of in de bodem vanuit een particulier huishouden is verboden, indien daarbij stoffen zonder doorsijpeling door bodem of ondergrond in het grondwater geraken.
2. Het bevoegd gezag kan bij maatwerkvoorschrift bepalen dat het eerste lid niet van toepassing is en dat lozen in de bodem is toegestaan, indien het belang van de bescherming van het milieu zich gelet op de samenstelling, hoeveelheid en eigenschappen van het lozen daartegen niet verzet.

3. Bij maatwerkvoorschrift als bedoeld in het tweede lid kunnen voorwaarden worden gesteld met betrekking tot:
 - o a. de samenstelling, eigenschappen of hoeveelheid van het te lozen afvalwater;
 - o b. de voorafgaand aan het lozen van het afvalwater te treffen maatregelen, en
 - o c. de plaats van het lozingspunt.
4. Het eerste lid is niet van toepassing op lozen in de bodem waaraan in een vergunning op grond van [artikel 6.4](#) of [artikel 6.5, onderdeel b, van de Waterwet](#), dan wel een vergunning op grond van een verordening van het waterschap voorschriften zijn gesteld.

Artikel 4

1. Degene die loost en weet of redelijkerwijs had kunnen weten dat door het lozen nadelige gevolgen voor het milieu ontstaan of kunnen ontstaan, die niet of onvoldoende worden voorkomen of beperkt door naleving van de bij of krachtens dit besluit gestelde voorschriften, voorkomt die gevolgen of beperkt die voor zover voorkomen niet mogelijk is en voor zover dit redelijkerwijs van hem kan worden gevergd.
2. Onder het voorkomen of beperken van het ontstaan van nadelige gevolgen voor het milieu, bedoeld in het eerste lid, wordt verstaan:
 - o a. het voorkomen dan wel voor zover dat niet mogelijk is het zoveel mogelijk beperken van bodemverontreiniging;
 - o b. het voorkomen dan wel voor zover dat niet mogelijk is het zoveel mogelijk beperken van verontreiniging van het grondwater;
 - o c. het voorkomen dan wel voor zover dat niet mogelijk is het zoveel mogelijk beperken van de verontreiniging van een oppervlaktewaterlichaam;
 - o d. de bescherming van de doelmatige werking van de voorzieningen voor het beheer van afvalwater;
 - o e. het doelmatig beheer van afvalwater.
3. Het bevoegd gezag kan met betrekking tot de verplichting, bedoeld in het eerste lid, maatwerkvoorschriften stellen voor zover het betreffende aspect bij of krachtens dit besluit niet uitputtend is geregeld. Deze maatwerkvoorschriften kunnen mede inhouden een verplichting de activiteiten die met het lozen samenhangen te beschrijven, alsmede metingen, berekeningen of tellingen te verrichten ter bepaling van de mate waarin het lozen nadelige gevolgen voor het milieu veroorzaakt.

Artikel 5

Indien bij of krachtens dit besluit is bepaald dat een daarbij aangegeven maatregel ter bescherming van het milieu moet worden toegepast, kan een andere maatregel worden toegepast, indien het bevoegd gezag heeft beslist dat met die maatregel ten minste een gelijkwaardig niveau van bescherming van het milieu wordt bereikt.

Wet Milieubeheer

Artikel 10.29a

Een bestuursorgaan houdt er bij het uitoefenen van een bevoegdheid krachtens deze wet, voor zover die bevoegdheid wordt uitgeoefend met betrekking tot afvalwater, rekening mee dat het belang van de bescherming van het milieu vereist dat in de navolgende voorkeursvolgorde:

- a. het ontstaan van afvalwater wordt voorkomen of beperkt;

- **b.** verontreiniging van afvalwater wordt voorkomen of beperkt;
- **c.** afvalwaterstromen gescheiden worden gehouden, tenzij het niet gescheiden houden geen nadelige gevolgen heeft voor een doelmatig beheer van afvalwater;
- **d.** huishoudelijk afvalwater en, voor zover doelmatig en kostenefficiënt, afvalwater dat daarmee wat biologische afbreekbaarheid betreft overeenkomt worden ingezameld en naar een inrichting als bedoeld in [artikel 3.4 van de Waterwet](#) getransporteerd;
- **e.** ander afvalwater dan bedoeld in onderdeel d zo nodig na retentie of zuivering bij de bron, wordt hergebruikt;
- **f.** ander afvalwater dan bedoeld in onderdeel d lokaal, zo nodig na retentie of zuivering bij de bron, in het milieu wordt gebracht en
- **g.** ander afvalwater dan bedoeld in onderdeel d naar een inrichting als bedoeld in [artikel 3.4 van de Waterwet](#) wordt getransporteerd.

Artikel 10.32

Bij of krachtens algemene maatregel van bestuur kunnen in het belang van de bescherming van het milieu regels worden gesteld met betrekking tot het brengen van afvalwater en andere afvalstoffen in een voorziening voor de inzameling en het transport van afvalwater, anders dan vanuit een inrichting. Daarbij kan worden bepaald dat daarbij gestelde regels slechts gelden in daarbij aangegeven categorieën van gevallen. De [artikelen 8.40, tweede lid, 8.40a, 8.41, eerste tot en met derde lid, 8.42](#) en [8.42b](#) zijn van overeenkomstige toepassing met dien verstande dat voor «inrichting» gelezen wordt: het brengen van afvalwater en andere stoffen in een voorziening voor de inzameling en het transport van afvalwater, anders dan vanuit een inrichting.

Artikel 10.32a

- **1** De gemeenteraad kan bij verordening bepalen dat:
 - **a.** bij het brengen van afvloeiend hemelwater of van grondwater op of in de bodem of in een voorziening voor de inzameling en het transport van afvalwater, wordt voldaan aan de in die verordening gestelde regels, en
 - **b.** het brengen van afvloeiend hemelwater of van grondwater in een voorziening voor de inzameling en het transport van stedelijk afvalwater binnen een in die verordening aangegeven termijn wordt beëindigd.
- **2** Van de mogelijkheid, bedoeld in het eerste lid, onderdeel b, wordt geen gebruikgemaakt, indien van degene bij wie afvloeiend hemelwater of grondwater vrijkomt redelijkerwijs geen andere wijze van afvoer van dat water kan worden gevergd.

Drinkwaterbesluit

Artikel 4. Gebruik van huishoudwater

De eigenaar van een huishoudwatervoorziening draagt er, voor zover dat binnen zijn vermogen ligt, zorg voor dat een consument of andere afnemer van het huishoudwater dat water alleen gebruikt of kan gebruiken voor toiletspoeling.

Artikel 5. Productie van huishoudwater

1 De eigenaar van een huishoudwatervoorziening gebruikt voor de productie van huishoudwater uitsluitend hemelwater dat op een dak is opgevangen of grondwater.

2 Indien onvoldoende hemelwater of grondwater beschikbaar is voor de productie van huishoudwater, wordt daarnaast alleen drinkwater gebruikt voor die productie.

3 In afwijking van het eerste en tweede lid kan voor toiletspoeling op een binnen het Nederlandse territoir of het Nederlandse deel van het continentale plat gelegen mijnbouwinstallatie als bedoeld in [artikel 1, onderdeel o, van de Mijnbouwwet](#), zeewater worden gebruikt.

4 In afwijking van het eerste lid kan voor de productie van huishoudwater ander water worden gebruikt indien de toezichthouder van oordeel is dat het gebruik van dit water geen nadelige gevolgen heeft voor de gezondheid van de consumenten en voor de aan hen toebehorende goederen.

II Analyseresultaten kolomexperimenten

Tabel 29: analyseresultaten van de microbiologische parameters in de kolomtesten. Kve = kolonievormende eenheden, pve = plaquevormende eenheden.

| Datum | monster | E. coli (kve/L) | F-specifieke RNA bacteriofagen (pve/L) |
|------------|----------|--------------------|--|
| 14-10-2019 | influent | 1.50 E+07 | 6.70 E+08 |
| 14-10-2019 | kolom 1 | 1.30 E+06 | 7.65 E+08 |
| 14-10-2019 | kolom 2 | 1.80 E+07 | 7.65 E+08 |
| 14-10-2019 | kolom 3 | 1.70 E+06 | 8.10 E+08 |
| 15-10-2019 | influent | 2,20 E+07 | 9.20 E+08 |
| 15-10-2019 | kolom 1 | 1.10 E+06 | 6.70 E+08 |
| 15-10-2019 | kolom 2 | 2.80 E+07 | 8.10 E+08 |
| 15-10-2019 | kolom 3 | 3.30 E+06 | 8.30 E+08 |
| 17-10-2019 | influent | 4.70 E+07 | 1.02 E+09 |
| 17-10-2019 | kolom 1 | 2.10 E+06 | 7.90 E+08 |
| 17-10-2019 | kolom 2 | 3,60 E+07 | 9.05 E+08 |
| 17-10-2019 | kolom 3 | 4.20 E+06 | 8.25 E+08 |

Tabel 30: chemische analysesresultaten kolomtesten

| Datum | monster | troebelheid (FNE) | pH | Ca (mg/L) | Cr (µg/L) | Cu (µg/L) | P (µg/L) | Zn (µg/L) | TOC (mg C/L) | Fenantheen (µg/L) | Fluorantheen (µg/L) |
|------------|----------|----------------------|------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-----------------|----------------------|------------------------|
| 14-10-2019 | influent | 0,16 | 6,21 | <1,0 | 11 | 11 | 625 | 53 | 0,55 | 0,12 | 0,016 |
| 14-10-2019 | kolom 1 | 8,0 | 7,54 | 11 | 8,0 | 0,88 | 44 | 0,53 | 1,2 | 0,040 | <0,005 |
| 14-10-2019 | kolom 2 | 0,27 | 7,22 | 4,2 | 10 | 4,3 | 445 | 0,60 | 0,37 | 0,046 | <0,005 |
| 14-10-2019 | kolom 3 | 2,2 | 7,43 | 9,7 | 7,0 | 0,96 | 38 | (0,50 | 1,2 | 0,080 | 0,011 |
| 15-10-2019 | influent | 0,13 | 6,22 | <1,0 | 11 | 11 | 625 | 52 | 0,47 | 0,12 | 0,015 |
| 15-10-2019 | kolom 1 | 8,9 | 7,52 | 10 | 9,0 | 0,85 | 49 | 0,51 | 1,1 | 0,041 | <0,005 |
| 15-10-2019 | kolom 2 | 0,28 | 7,19 | 3,5 | 10 | 5,0 | 525 | 0,78 | 0,38 | 0,049 | <0,005 |
| 15-10-2019 | kolom 3 | 4,3 | 7,54 | 8,8 | 9,0 | 0,86 | 56 | <0,50 | 0,90 | 0,074 | 0,011 |
| 17-10-2019 | influent | 0,26 | 6,2 | <1,0 | 11 | 11 | 610 | 52 | 0,48 | 0,13 | 0,022 |
| 17-10-2019 | kolom 1 | 6,6 | 7,5 | 10 | 9,0 | 0,83 | 47 | <0,50 | 1,1 | 0,043 | <0,005 |
| 17-10-2019 | kolom 2 | 0,22 | 7,18 | 3,9 | 10 | 3,9 | 510 | 0,68 | 0,36 | 0,053 | <0,005 |
| 17-10-2019 | kolom 3 | 3,5 | 7,77 | 8,5 | 8,6 | 0,86 | 63 | <0,50 | 1,1 | 0,074 | 0,0096 |

III Analysedata pilot Wijster

Tabel 31: analyses van het water in de straatkolk vóór het filtersysteem, en na het filtersysteem

| parameter | eenheid | 10/10/19 | | 15/10/19 | | 01/10/20 | | 21/12/20 | |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | influent | effluent | influent | effluent | influent | effluent | influent | effluent |
| Troebelingsgraad | FTE | 0,95 | 4,5 | 8 | 13 | 20 | 0,54 | 110 | 0,51 |
| pH | pH-eenh. | -- | -- | -- | -- | 7,2 | 7,8 | 7,7 | 7,8 |
| Temperatuur | °C | -- | -- | -- | -- | 14,7 | 15,7 | 6,7 | 9,5 |
| Geleidingsvermogen bij 20 °C (EGV) | MS/m | -- | -- | -- | -- | 11,6 | 42,4 | 11,8 | 44,7 |
| Zuurstof (elektrochemisch) | mg/l | -- | -- | -- | -- | 1,4 | 3,1 | 6,5 | 3,3 |
| Natrium (Na), na aanzuren | mg/l | 1,95 | 281 | 1,64 | 137 | -- | -- | 2,99 | 24 |
| Kalium (K), na aanzuren | mg/l | 2,12 | 15,5 | 2,29 | 10,6 | -- | -- | 4,66 | 8,14 |
| Calcium (Ca), na aanzuren | mg/l | 10,9 | 64,7 | 5,58 | 44,6 | -- | -- | 25,7 | 62,2 |
| Magnesium (Mg), na aanzuren | mg/l | 0,33 | 37,1 | 0,19 | 21,1 | -- | -- | 0,95 | 11,5 |
| IJzer (Fe), na aanzuren | mg/l | 0,022 | 0,092 | 0,095 | 0,232 | -- | -- | 1,23 | 0,036 |
| Mangaan (Mn), na aanzuren | mg/l | <0,005 | <0,005 | <0,005 | 0,007 | -- | -- | 0,097 | 0,029 |
| Ammonium | mg/l | -- | -- | -- | -- | 0,95 | <0,03 | 1,13 | <0,03 |
| Chroom (Cr) | µg/l | -- | -- | -- | -- | 2,54 | <0,5 | 1,67 | <0,5 |
| Zink (Zn) | µg/l | -- | -- | -- | -- | 119 | <2,0 | 111 | <2,0 |
| Lood (Pb) | µg/l | -- | -- | -- | -- | 13,3 | <0,5 | 10,6 | <0,5 |
| Koper (Cu) | µg/l | -- | -- | -- | -- | 8,75 | <1 | 10,3 | 2,01 |
| Som PAK (6 Borneff) | µg/l | -- | -- | -- | -- | 0,04 | <0,01 | 0,5 | <0,01 |
| Som PAK (15 EPA) | µg/l | -- | -- | -- | -- | 0,11 | <0,01 | 0,99 | <0,01 |

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------|------|------|------|------|-------------|--------|-------------|--------|
| Som PAK (DWR 2011) | µg/l | -- | -- | -- | -- | 0,08 | <0,01 | 0,75 | <0,01 |
| Som PAK (10 VROM) | µg/l | -- | -- | -- | -- | <0,2 | <0,002 | 0,72 | <0,002 |
| Fenantreen | µg/l | -- | -- | -- | -- | 0,03 | <0,01 | 0,1 | <0,01 |
| Fluorantheen | µg/l | -- | -- | -- | -- | 0,03 | <0,01 | 0,21 | <0,01 |
| Minerale olie | µg/l | -- | -- | -- | -- | 53 | <25 | 80 | <25 |
| Olietraject | µg/l | -- | -- | -- | -- | C10- C40 | | C10- C40 | |
| Legionella, Matrix A Procedure 8,9,10 | kve/l | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 |
| Coliformen 37° C | kve/100 ml | 17 | 33 | >300 | 150 | 1 | 6 | 2400 | 27 |
| Escherichia coli 37 °C | kve/100 ml | 17 | 30 | >270 | 30 | 1 | 4 | | 0 |
| Enterococcen 100 ml | kve/100 ml | -- | -- | -- | -- | 6100 | 25 | 1400 | 3 |

Tabel32: data pilot Wijster

| parameter | eenheid | 26/03/21 | | 24/06/21 | |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | influent | effluent | influent | effluent |
| Troebelingsgraad | FTE | 3,7 | 0,66 | 0,4 | 0,22 |
| pH | pH-eenh. | 6,6 | 7,6 | 7,3 | 7,3 |
| Temperatuur | °C | 7,6 | 7,8 | 17,3 | 12,6 |
| Geleidingsvermogen bij 20 °C (EGV) | MS/m | 26,1 | 126 | 10,2 | 125 |
| Zuurstof (elektrochemisch) | mg/l | 0,25 | 3,2 | 3,5 | NB |
| Natrium (Na), na aanzuren | mg/l | 14,2 | 177 | 5,11 | 182 |
| Kalium (K), na aanzuren | mg/l | 4,64 | 6,02 | 2,36 | 7,27 |

| | | | | | |
|---------------------------------------|------------|---------|--------|--------|-------|
| Calcium (Ca), na aanzuren | mg/l | 16,3 | 73,6 | 16,2 | 73,5 |
| Magnesium (Mg), na aanzuren | mg/l | 0,86 | 6,05 | 0,5 | 6,19 |
| IJzer (Fe), na aanzuren | mg/l | 1,2 | 0,094 | 0,045 | 0,033 |
| Mangaan (Mn), na aanzuren | mg/l | 0,063 | 0,008 | <0,005 | 0,015 |
| Ammonium | mg/l | 5,64 | <0,03 | 0,09 | <0,02 |
| Chroom (Cr) | µg/l | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 |
| Zink (Zn) | µg/l | 19,9 | 2,63 | 16,8 | 2,65 |
| Lood (Pb) | µg/l | 0,99 | <0,5 | <0,5 | <0,5 |
| Koper (Cu) | µg/l | 2,38 | 1,47 | 2,28 | 1,79 |
| Som PAK (6 Borneff) | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Som PAK (15 EPA) | µg/l | 0,08 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Som PAK (DWR 2011) | µg/l | 0,04 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Som PAK (10 VROM) | µg/l | <0,2 | <0,002 | <0,2 | <0,2 |
| Fenantreen | µg/l | 0,04 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Fluorantheen | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Minerale olie | µg/l | 29 | <25 | <25 | <25 |
| Olietraject | µg/l | C10-C36 | - | | |
| Legionella, Matrix A Procedure 8,9,10 | kve/l | <100 | <100 | <100 | <100 |
| Coliformen 37° C | kve/100 ml | <1 | 2 | 300 | 3 |
| Escherichia coli 37 °C | kve/100 ml | | 0 | NB | 6 |
| Enterococcen 100 ml | kve/100 ml | 15 | 2 | 11 | 6 |

IV Analysedata pilot Goes

Tabel 33: analyses van het water in de straatkolk vóór het filtersysteem, en na het filtersysteem

| parameter | eenheid | 19/11/19 | | 26/11/19 | | 25/09/20 | | 18/12/20 | |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------|----------|
| | | Influent | effluent | Influent | effluent | Influent | effluent | Influent | effluent |
| Troebelingsgraad | FTE | 3,8 | 5,5 | 22 | 2,4 | 11 | 0,37 | 49 | 1,8 |
| pH | pH-eenh. | 7,57 | 7,81 | 7,51 | 7,77 | 7,8 | 7,7 | 7,5 | 7,5 |
| Temperatuur | °C | 17,6 | 17,0 | 18,6 | 19,6 | 16,6 | 17,5 | 8,4 | 10,9 |
| Geleidingsvermogen bij 20 °C (EGV) | MS/m | | | | | 20,3 | 40,7 | 51,8 | 89,8 |
| Zuurstof (elektrochemisch) | mg/l | | | | | 4,8 | | 8 | 6,9 |
| Natrium (Na), na aanzuren | mg/l | 13 | 37 | 23 | 36 | -- | -- | 13,8 | 31,8 |
| Kalium (K), na aanzuren | mg/l | 6,1 | 7 | 7,1 | 6,8 | -- | -- | 6,12 | 7,41 |
| Calcium (Ca), na aanzuren | mg/l | 110 | 120 | 130 | 140 | -- | -- | 99,8 | 158 |
| Magnesium (Mg), na aanzuren | mg/l | 12 | 18 | 15 | 22 | -- | -- | 12,6 | 17,9 |
| IJzer (Fe), na aanzuren | mg/l | 0,6 | 0,5 | 2,8 | 0,27 | -- | -- | 18,3 | 0,184 |
| Mangaan (Mn), na aanzuren | mg/l | 0,13 | 0,046 | 0,24 | 0,029 | -- | -- | 0,93 | 0,027 |
| Ammonium | mg/l | -- | -- | -- | -- | 0,49 | <0,03 | 0,12 | <0,03 |
| Chroom (Cr) | µg/l | -- | -- | -- | -- | | <0,5 | 7,86 | <0,5 |
| Zink (Zn) | µg/l | -- | -- | -- | -- | | 7,49 | 3150 ^{*)} | 12,7 |
| Lood (Pb) | µg/l | -- | -- | -- | -- | | <0,5 | 37,7 | <0,5 |
| Koper (Cu) | µg/l | -- | -- | -- | -- | | 1,82 | 20 | 5,92 |
| Som PAK (6 Borneff) | µg/l | -- | -- | -- | -- | <0,01 | <0,01 | 0,19 | <0,01 |
| Som PAK (15 EPA) | µg/l | -- | -- | -- | -- | <0,01 | <0,01 | 0,3 | <0,01 |

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|
| Som PAK (DWR 2011) | µg/l | -- | -- | -- | -- | <0,01 | <0,01 | 0,22 | <0,01 |
| Som PAK (10 VROM) | µg/l | -- | -- | -- | -- | <0,2 | <0,2 | 0,22 | <0,2 |
| Fenantreen | µg/l | -- | -- | -- | -- | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,01 |
| Fluorantheen | µg/l | -- | -- | -- | -- | <0,01 | <0,01 | 0,06 | <0,01 |
| Minerale olie | µg/l | -- | -- | -- | -- | <25 | <25 | <25 | <25 |
| Olietraject | µg/l | -- | -- | -- | -- | | | | |
| Legionella, Matrix A Procedure 8,9,10 | kve/l | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 | <100 |
| Coliformen 37° C | kve/100 ml | 2 | 1 | 6 | 0 | 210 | 0 | <1 | 6 |
| Escherichia coli 37 °C | kve/100 ml | 1 | 1 | 4 | 0 | 210 | 0 | | 0 |
| Enterococcen 100 ml | kve/100 ml | -- | -- | -- | -- | >300 | 0 | 0 | 4 |

*) Deze waarde is gerapporteerd, maar lijkt wel erg hoog. Zeer waarschijnlijk betreft dit een fout.

Tabel 34: data pilot Goes

| parameter | eenheid | 26/03/21 | | 24/06/21 | |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | Influent | effluent | Influent | effluent |
| Troebelingsgraad | FTE | 2,5 | 1 | 7,3 | 0,72 |
| pH | pH-eenh. | 7,4 | 8 | 7,3 | 7,2 |
| Temperatuur | °C | 9,1 | 11,3 | 18,9 | 14,8 |
| Geleidingsvermogen bij 20 °C (EGV) | MS/m | 76,2 | 29,7 | 41 | 58,1 |
| Zuurstof (elektrochemisch) | mg/l | 6,4 | | 1,8 | NB |
| Natrium (Na), na aanzuren | mg/l | 30,5 | 8,64 | 16,7 | 26,9 |
| Kalium (K), na aanzuren | mg/l | 8,25 | 5,67 | 9,3 | 4,34 |
| Calcium (Ca), na aanzuren | mg/l | 122 | 55,3 | 61,5 | 97,9 |
| Magnesium (Mg), na aanzuren | mg/l | 17,8 | 5,53 | 6,49 | 8,77 |
| IJzer (Fe), na aanzuren | mg/l | 0,294 | 0,052 | 0,43 | 0,078 |

| | | | | | |
|--|------------|-------|-------|-------|-------|
| Mangaan (Mn), na aanzuren | mg/l | 0,028 | 0,091 | 0,878 | 0,009 |
| Ammonium | mg/l | <0,03 | 0,08 | 0,24 | <0,03 |
| Chroom (Cr) | µg/l | <0,5 | < 0,5 | <0,5 | <0,5 |
| Zink (Zn) | µg/l | 17,1 | 18,1 | 54,1 | 3,37 |
| Lood (Pb) | µg/l | <0,5 | <0,5 | 0,827 | <0,5 |
| Koper (Cu) | µg/l | 4,35 | 1,07 | 2,86 | 1,15 |
| Som PAK (6 Borneff) | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Som PAK (15 EPA) | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Som PAK (DWR 2011) | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Som PAK (10 VROM) | µg/l | <0,2 | <0,2 | <0,2 | <0,2 |
| Fenantreen | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Fluorantheen | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Minerale olie | µg/l | <25 | <25 | <25 | <25 |
| Olietraject | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Legionella, Matrix A Procedure 8,9,10 | kve/l | <100 | <100 | 800 | <100 |
| Coliformen 37° C | kve/100 ml | <1 | 1 | 2400 | >300 |
| Escherichia coli 37 °C | kve/100 ml | | 0 | | >150 |
| Enterococcen 100 ml | kve/100 ml | 140 | 0 | 38 | >300 |

V Analysedata pilot Amsterdam

Tabel 35: analyses van het water in de straatkolk vóór het filtersysteem, en na het filtersysteem

| parameter | eenheid | 01/10/20 | | | 21/12/20 | | |
|------------------------------------|----------|----------|----------|--------------|----------|----------|--------------|
| | | influent | effluent | Na vitalizer | influent | effluent | Na vitalizer |
| Troebelingsgraad | FTE | 21 | 7,8 | 7 | 180 | 17 | 7,3 |
| pH | pH-eenh. | 7,2 | 7,8 | 7,8 | 8,1 | 7,8 | 7,8 |
| Temperatuur | °C | 15,6 | 17,1 | 17,1 | 7,2 | 9,2 | 9,6 |
| Geleidingsvermogen bij 20 °C (EGV) | MS/m | 43,4 | 73,6 | 73,8 | 24,7 | 56,4 | 56,3 |
| Zuurstof (elektrochemisch) | mg/l | <0,5 | <0,5 | <0,5 | 0,7 | 1,5 | 0,4 |
| Natrium (Na), na aanzuren | mg/l | -- | -- | -- | 10,3 | 46,4 | 47,1 |
| Kalium (K), na aanzuren | mg/l | -- | -- | -- | 7,39 | 8,24 | 8,32 |
| Calcium (Ca), na aanzuren | mg/l | -- | -- | -- | 48,4 | 54,1 | 53,4 |
| Magnesium (Mg), na aanzuren | mg/l | -- | -- | -- | 3,75 | 17,3 | 17,4 |
| IJzer (Fe), na aanzuren | mg/l | -- | -- | -- | 2,77 | 0,438 | 0,337 |
| Mangaan (Mn), na aanzuren | mg/l | -- | -- | -- | 0,19 | 1,4 | 1,37 |
| Ammonium | mg/l | 6,48 | 0,74 | 0,78 | 0,67 | 0,25 | 0,25 |
| Chroom (Cr) | µg/l | 1,65 | <0,5 | <0,5 | 4,12 | <0,5 | <0,5 |
| Zink (Zn) | µg/l | 31,6 | <2,0 | <2,0 | 171 | 7,4 | 3,06 |
| Lood (Pb) | µg/l | 2,48 | <0,5 | <0,5 | 24,8 | 2,25 | 0,799 |
| Koper (Cu) | µg/l | 5,56 | <1 | <1 | 18 | 1,75 | 1,59 |
| Som PAK (6 Borneff) | µg/l | 0,1 | <0,01 | <0,01 | 2,1 | 0,02 | <0,01 |
| Som PAK (15 EPA) | µg/l | 0,31 | <0,01 | <0,01 | 4,9 | 0,03 | <0,01 |

| | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|
| Som PAK (DWR 2011) | µg/l | 0,15 | <0,01 | <0,01 | 3,8 | 0,02 | <0,01 |
| Som PAK (10 VROM) | µg/l | 0,2 | <0,2 | <0,2 | 3,5 | <0,2 | <0,2 |
| Fenantreen | µg/l | 0,04 | <0,01 | <0,01 | 0,66 | <0,01 | <0,01 |
| Fluorantheen | µg/l | 0,02 | <0,01 | <0,01 | 1 | 0,01 | <0,01 |
| Minerale olie | µg/l | 170 | <25 | <25 | 140 | <25 | <25 |
| Olietraject | µg/l | C10-C40 | | | C10-C40 | | |
| Legionella, Matrix A Procedure 8,9,10 | kve/l | <100 | <100 | <120 | <100 | <100 | <100 |
| Coliformen 37° C | kve/100 ml | >270 | 38 | 48 | >30000 | 6 | -- |
| Escherichia coli 37 °C | kve/100 ml | 0 | 11 | 14 | | 4 | -- |
| Enterococcen 100 ml | kve/100 ml | >30000 | 6 | 5 | 16000 | 10 | -- |

Tabel 36: data pilot Amsterdam

| parameter | eenheid | 25/03/21 | | | 24/06/21 | | |
|------------------------------------|-----------|----------|----------|--------------|----------|----------|--------------|
| | | influent | effluent | Na vitalizer | influent | effluent | Na vitalizer |
| Troebelingsgraad | FTE | 57 | 4,4 | 9,2 | 10 | 9,2 | 7,3 |
| pH | pH-eeenh. | 7 | 7,9 | 8 | 7,2 | 7,5 | 8 |
| Temperatuur | °C | 8,2 | 8,3 | 8,3 | 18,4 | 17,6 | 17,1 |
| Geleidingsvermogen bij 20 °C (EGV) | MS/m | 61,3 | 83,2 | 134 | 84,7 | 44,6 | 51,1 |
| Zuurstof (elektrochemisch) | mg/l | | 4,4 | 0,6 | | | 1,8 |
| Natrium (Na), na aanzuren | mg/l | 59,9 | 116 | 167 | 60,5 | 34,6 | 46,8 |
| Kalium (K), na aanzuren | mg/l | 7,59 | 9,77 | 9,63 | 25,6 | 7,73 | 9,09 |
| Calcium (Ca), na aanzuren | mg/l | 56,2 | 56,5 | 60,9 | 105 | 46,7 | 43,1 |
| Magnesium (Mg), na aanzuren | mg/l | 2,88 | 13,5 | 15,3 | 5,17 | 8,78 | 11,8 |

| | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------|-------------|-------|-------|---------|-------|-------|
| IJzer (Fe), na aanzuren | mg/l | 17,3 | 0,504 | 0,391 | 7,06 | 0,486 | 0,425 |
| Mangaan (Mn), na aanzuren | mg/l | 0,63 | 1,09 | 1,39 | 0,489 | 0,826 | 1,26 |
| Ammonium | mg/l | 0,54 | 0,6 | 0,87 | 1,36 | 0,61 | 0,85 |
| Chroom (Cr) | µg/l | 0,849 | <0,5 | <0,5 | 1,38 | <0,5 | <0,5 |
| Zink (Zn) | µg/l | 69,9 | <2,0 | <2,0 | 22,7 | 4,05 | 9 |
| Lood (Pb) | µg/l | 1,87 | <0,5 | <0,5 | 1,08 | 0,811 | <0,5 |
| Koper (Cu) | µg/l | 7,06 | <1 | <1 | 5,44 | 1,06 | <1 |
| Som PAK (6 Borneff) | µg/l | 0,11 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,01 | <0,01 |
| Som PAK (15 EPA) | µg/l | 0,31 | <0,01 | <0,01 | 0,19 | <0,01 | <0,01 |
| Som PAK (DWR 2011) | µg/l | 0,2 | <0,01 | <0,01 | 0,06 | <0,01 | <0,01 |
| Som PAK (10 VROM) | µg/l | 0,23 | <0,2 | <0,2 | <0,2 | <0,2 | <0,2 |
| Fenantreen | µg/l | 0,04 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,01 | <0,01 |
| Fluorantheen | µg/l | 0,06 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,01 | <0,01 |
| Minerale olie | µg/l | <25 | <25 | <25 | 52 | <25 | <25 |
| Olietraject | µg/l | - | | | C10-C40 | | |
| Legionella, Matrix A Procedure 8,9,10 | kve/l | aanget oond | <100 | 2200 | <500 | <100 | 4600 |
| Coliformen 37° C | kve/100 ml | 300 | 5 | 4 | >300 | >300 | 3000 |
| Escherichia coli 37 °C | kve/100 ml | | 3 | 0 | >210 | >210 | NB |
| Enterococcen 100 ml | kve/100 ml | 1 | 0 | 0 | >300 | >300 | 300 |

VI Analysedata pilot Wetteren

Tabel 3: analyses van het water in de straatkolk vóór het filtersysteem, en na het filtersysteem in Wetteren

| Parameters | | 14-01-2021 | | 23-03-21 | | 06-05-21 | | |
|------------------------------------|----------------------|------------|-------------|----------|----------|----------|--|----------|
| | eenheid | Influent | effluent | Influent | effluent | Influent | Peilbuis na schelpen, voor AA minerals | effluent |
| Zwevend stof met droging bij 105 C | mg/l | 3 | 18 | 380 | 18 | 580 | 3 | 18 |
| Troebelingsgraad | FTE | -- | -- | | | | | |
| pH | pH-eenh. | 7,1 | 7,7 | 7,3 | 7,7 | 7,5 | 7,9 | 7,8 |
| Temperatuur | °C | 18,9 | 18,9 | | | | | |
| Geleidingsvermogen bij 20 °C (EGV) | MS/m | -- | -- | | | | | |
| Zuurstof (elektrochemisch) | mg/l | -- | -- | | | | | |
| Chloride (Cl) | mg/l | 5 | 3870 | 18 | 2430 | 8 | 860 | 770 |
| Natrium (Na), na aanzuren | mg/l | -- | -- | | | | | |
| Kalium (K), na aanzuren | mg/l | -- | -- | | | | | |
| Calcium (Ca), na aanzuren | mg/l | -- | -- | | | | | |
| Magnesium (Mg), na aanzuren | mg/l | -- | -- | | | | | |
| IJzer (Fe), na aanzuren | mg/l | -- | -- | | | | | |
| Mangaan (Mn), na aanzuren | mg/l | -- | -- | | | | | |
| Biochemisch zuurstof verbruik | mg O ₂ /l | 4 | 4 | 48 | | 22 | <3 | <3 |
| CZV | mg O ₂ /l | <10 | <100 | 130 | <50 | 220 | 14 | 11 |

| | | | | | | | | |
|---|-----------------------|--------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Ammonium | mg N/l | 2,1 | 20,6 | 5,9 | 18 | 1,9 | 9,3 | 9,7 |
| Ammonium | mg NH ₄ /l | 2,7 | 26,5 | 7,6 | 23,1 | 2,4 | 12,0 | 12,5 |
| Nitraat | mg N/l | 2,1 | <0,2 | 0,6 | <0,2 | 0,4 | 0,7 | 1 |
| Nitraat | mg NO ₃ /l | 9,3 | -- | 2,7 | | 1,8 | 3,1 | 4,4 |
| Nitriet | mg N/l | <0,02 | <0,02 | | | | | |
| Nitriet | mg NO ₂ /l | -- | -- | | | | | |
| Geoxideerd stikstof (NO ₃ +NO ₂) | mg N/l | 0,3 | <0,2 | 0,03 | <0,02 | 0,07 | 0,02 | 0,03 |
| Kjeldahl stikstof | mg N/l | 3,3 | 20 | 0,6 | <0,2 | 0,5 | 0,7 | 1 |
| Stikstof totaal | mg N/l | 3,6 | 20 | 15,4 | 18 | 13,5 | 10,3 | 10 |
| Ortho fosfaat | mg P/l | <0,2 | <0,1 | 0,6 | <0,2 | 0,5 | 0,7 | 1 |
| Ortho fosfaat | mg PO ₄ /l | -- | -- | 0,3 | <0,1 | 0,1 | <0,1 | <0,1 |
| Sulfaat | mg SO ₄ /l | <5 | 800 | 0,9 | | 0,3 | | |
| Fosfor | mg P/l | <0,2 | 0,4 | 14 | 540 | 6 | 295 | 285 |
| Cadmium | mg/l | <10 | <10 | <0,0100 | <0,0400 | <0,0100 | <0,0100 | <0,0100 |
| Chroom (Cr) | mg/l | <15 | <15 | <0,015 | <0,060 | 0,016 | <0,015 | <0,015 |
| Zink (Zn) | mg/l | 248 | <20 | 0,48 | 0,385 | 0,702 | <0,020 | <0,040 |
| Lood (Pb) | mg/l | <15 | <15 | 0,043 | <0,060 | 0,09 | <0,015 | <0,015 |
| Koper (Cu) | mg/l | <15 | <15 | 0,044 | <0,060 | 0,077 | <0,015 | <0,015 |
| Kwik | mg/l | <0,3 | <0,3 | 0,0006 | <0,0003 | 0,0007 | <0,0003 | <0,0003 |
| Nikkel | mg/l | <0,015 | 0,022 | <0,015 | <0,060 | <0,015 | <0,015 | <0,015 |
| Som PAK (6 Borneff) | µg/l | -- | -- | | | | | |
| Som PAK (15 EPA) | µg/l | -- | -- | | | | | |
| Som PAK (DWR 2011) | µg/l | -- | -- | | | | | |
| Som PAK (10 VROM) | µg/l | -- | -- | | | | | |
| Fenantreen | µg/l | -- | -- | 0,23 | <0,01 | 0,43 | <0,01 | <0,01 |

| | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------|----|--------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Fluorantheen | µg/l | -- | -- | <0,1 | <0,01 | 0,13 | <0,01 | <0,01 |
| Minerale olie | µg/l | -- | -- | | | | | |
| Olietraject | | -- | -- | | | | | |
| Legionella, Matrix A Procedure 8,9,10 | kve/l | -- | -- | | | | | |
| Coliformen 37° C | kve/100 ml | -- | -- | | | | | |
| Escherichia coli 37 °C | kve/100 ml | -- | -- | | | | | |
| Enterococcen 100 ml | kve/100 ml | -- | -- | | | | | |
| Sulfietreducerende clostridia | kve/100 ml | | | | | | | |
| Aantal kiemen (48-37) | kve/ml | | | | | | | |
| PAK | | | <0,015 | Uitgevoerd | Uitgevoerd | Uitgevoerd | Uitgevoerd | Uitgevoerd |
| Acenaftheen | µg/L | | | 0,12 | <0,01 | 0,17 | <0,01 | <0,01 |
| Acenaftyleen | µg/L | | | <0,3 | <0,03 | <0,3 | <0,03 | <0,03 |
| Anthraceen | µg/L | | | <0,1 | <0,01 | <0,1 | <0,01 | <0,01 |
| Benzo(a)pyreen | µg/L | | | 0,24 | <0,01 | 0,17 | <0,01 | <0,01 |
| Benzo(a)anthraceen | µg/L | | | 0,16 | <0,01 | 0,23 | <0,01 | <0,01 |
| Benzo(b)fluorantheen | µg/L | | | 0,16 | <0,01 | 0,24 | <0,01 | <0,01 |
| Benzo(k)fluorantheen | µg/L | | | <0,1 | <0,01 | <0,1 | <0,01 | <0,01 |
| benzo(g,h,i)peryleen | µg/L | | | 0,14 | <0,01 | 0,18 | <0,01 | <0,01 |
| dibenzo(a,h)anthraceen | µg/L | | | <0,1 | <0,01 | <0,1 | <0,01 | <0,01 |
| Fenanthreen | µg/L | | | 0,23 | <0,01 | 0,43 | <0,01 | <0,01 |
| Fluorantheen | µg/L | | | 0,27 | <0,01 | 0,61 | <0,01 | <0,01 |
| Fluoreen | µg/L | | | <0,1 | <0,01 | 0,13 | <0,01 | <0,01 |
| | | | | | | | | |
| Indeno(1,2,3-cd)pyreen | µg/L | | | <0,1 | <0,01 | 0,16 | <0,01 | <0,01 |
| Naftaleen | µg/L | | | <0,2 | <0,02 | <0,2 | <0,02 | <0,02 |

| | | | | | | | | |
|--|------|--|--|------|-------|------|-------|-------|
| Pyreen | µg/L | | | 0,24 | <0,01 | 0,46 | <0,01 | <0,01 |
| TOT16 som 16 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (EPA) - AQUO | µg/L | | | 1,8 | | 3,1 | | |
| TOT6 som 6 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (Borneff) - AQUO | µg/L | | | 0,81 | | 1,4 | | |

Tabel 38: data pilot Wetteren

| Parameters | | 12-08-2021 | | | 22-02-22 | | |
|------------------------------------|-----------|------------|--|----------|----------|--|----------|
| | eenheid | Influent | Peilbuis na schelpen, voor AA minerals | effluent | Influent | Peilbuis na schelpen, voor AA minerals | effluent |
| Zwevend stof met droging bij 105 C | mg/l | 22 | 96 | 5 | 4 | 5 | <2 |
| Troebelingsgraad | FTE | | | | | | |
| pH | pH-eeenh. | 7,3 | 7,2 | 7,7 | 7,3 | 7,7 | 7,4 |
| Temperatuur | °C | | | | | | |
| Geleidingsvermogen bij 20 °C (EGV) | MS/m | | | | | | |
| Zuurstof (elektrochemisch) | mg/l | | | | | | |
| Chloride (Cl) | mg/l | <3 | 50 | 312 | 33 | 104 | 100 |
| Natrium (Na), na aanzuren | mg/l | | | | | | |
| Kalium (K), na aanzuren | mg/l | | | | | | |
| Calcium (Ca), na aanzuren | mg/l | | | | | | |
| Magnesium (Mg), na aanzuren | mg/l | | | | | | |
| IJzer (Fe), na aanzuren | mg/l | | | | | | |
| Mangaan (Mn), na aanzuren | mg/l | | | | | | |

| | | | | | | | |
|---|-----------------------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Biochemisch zuurstof verbruik | mg O ₂ /l | 5 | <3 | <3 | 19 | <3 | <3 |
| CZV | mg O ₂ /l | 27 | 14 | 18 | 30 | 11 | 14 |
| Ammonium | mg N/l | 3,4 | 0,8 | 5,9 | 0,8 | 3,6 | 0,6 |
| Ammonium | mg NH ₄ /l | 4,4 | 1,0 | 7,6 | 1,0 | 4,6 | 0,8 |
| Nitraat | mg N/l | <0,2 | 3,4 | <0,2 | 0,4 | 0,2 | 3 |
| Nitraat | mg NO ₃ /l | | 15,1 | | | | |
| Nitriet | mg N/l | <0,02 | <0,02 | <0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,06 |
| Nitriet | mg NO ₂ /l | 0,02 | 0,02 | 0,02 | | | |
| Geoxideerd stikstof (NO ₃ +NO ₂) | mg N/l | <0,2 | 3,4 | <0,2 | 0,4 | 0,2 | 3,1 |
| Kjeldahl stikstof | mg N/l | 4,5 | 1,3 | 6,1 | 1 | 3,8 | 0,7 |
| Stikstof totaal | mg N/l | 4,5 | 4,7 | 6,1 | 1,4 | 4,4 | 3,8 |
| Ortho fosfaat | mg P/l | 0,4 | <0,1 | 0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| Ortho fosfaat | mg PO ₄ /l | | | | | | |
| Sulfaat | mg SO ₄ /l | <5 | 104 | 224 | 7 | 148 | 148 |
| Fosfor | mg P/l | 0,6 | 0,2 | <0,2 | <0,2 | <0,2 | <0,2 |
| Cadmium | mg/l | | | | | | |
| Chroom (Cr) | mg/l | | | | | | |
| Zink (Zn) | mg/l | | | | | | |
| Lood (Pb) | mg/l | | | | | | |
| Koper (Cu) | mg/l | | | | | | |
| Kwik | mg/l | | | | | | |
| Nikkel | mg/l | | | | | | |
| Som PAK (6 Borneff) | µg/l | | | | | | |
| Som PAK (15 EPA) | µg/l | | | | | | |
| Som PAK (DWR 2011) | µg/l | | | | | | |

| | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Som PAK (10 VROM) | µg/l | | | | | | |
| Fenantreen | µg/l | 0,046 | <0,01 | 0,014 | 0,015 | <0,01 | <0,01 |
| Fluorantheen | µg/l | 0,018 | <0,01 | <0,01 | 0,013 | <0,01 | <0,01 |
| Minerale olie | µg/l | | | | | | |
| Olietraject | | | | | | | |
| Legionella, Matrix A Procedure 8,9,10 | kve/l | 2000 | <166 | <166 | | | |
| Coliformen 37° C | kve/100 ml | >1000 | 10 | 980 | | | |
| Escherichia coli 37 °C | kve/100 ml | 830 | <10 | <10 | | | |
| Enterococcen 100 ml | kve/100 ml | 6000 | <10 | <10 | | | |
| Sulfietreducerende clostridia | kve/100 ml | | | | | | |
| Aantal kiemen (48-37) | kve/ml | >3000 | 125 | 400 | | | |
| PAK | | | | | | | |
| Acenaftheen | µg/L | 0,037 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Acenaftheen | µg/L | <0,03 | <0,03 | <0,03 | <0,03 | <0,03 | <0,03 |
| Anthraceen | µg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Benzo(a)pyreen | µg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Benzo(a)anthraceen | µg/L | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Benzo(b)fluorantheen | µg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Benzo(k)fluorantheen | µg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| benzo(g,h,i)peryleen | µg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| dibenzo(a,h)anthraceen | µg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Fenanthreen | µg/L | 0,046 | <0,01 | 0,014 | 0,015 | <0,01 | <0,01 |
| Fluorantheen | µg/L | 0,034 | 0,014 | <0,01 | 0,013 | <0,01 | <0,01 |
| Fluoreen | µg/L | 0,018 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|--|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Indeno(1,2,3-cd)pyreen | µg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Naftaleen | µg/L | 0,022 | <0,02 | <0,02 | <0,02 | <0,02 | <0,02 |
| Pyreen | µg/L | 0,02 | 0,011 | <0,01 | 0,011 | <0,01 | <0,01 |
| TOT16 som 16 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (EPA) - AQUO | µg/L | 0,2 | 0,03 | 0,01 | 0,04 | | |
| TOT6 som 6 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (Borneff) - AQUO | µg/L | 0,03 | 0,01 | <0,01 | 0,01 | | |

Tabel 39: data pilot Wetteren, influent en effluent

| Parameters | | 30-05-2022 | | | 30-09-22 | | |
|------------------------------------|-----------|------------|--|----------|----------|--|----------|
| | eenheid | Influent | Peilbuis na schelpen, voor AA minerals | effluent | Influent | Peilbuis na schelpen, voor AA minerals | effluent |
| Zwevend stof met droging bij 105 C | mg/l | 12 | <2 | 9 | 170 | 7 | 2 |
| Troebelingsgraad | FTE | | | | | | |
| pH | pH-eeenh. | 7 | 7,8 | 7,3 | 7,3 | 7,3 | 7,2 |
| Temperatuur | °C | | | | | | |
| Geleidingsvermogen bij 20 °C (EGV) | MS/m | | | | | | |
| Zuurstof (elektrochemisch) | mg/l | | | | | | |
| Chloride (Cl) | mg/l | 11 | 72 | 57 | 6 | 52 | 71 |
| Natrium (Na), na aanzuren | mg/l | | | | | | |
| Kalium (K), na aanzuren | mg/l | | | | | | |
| Calcium (Ca), na aanzuren | mg/l | | | | | | |
| Magnesium (Mg), na aanzuren | mg/l | | | | | | |

| | | | | | | | |
|---|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| IJzer (Fe), na aanzuren | mg/l | | | | | | |
| Mangaan (Mn), na aanzuren | mg/l | | | | | | |
| Biochemisch zuurstof verbruik | mg O ₂ /l | 9 | <3 | <3 | 6 | <3 | <3 |
| CZV | mg O ₂ /l | 41 | <10 | <10 | 43 | <10 | <10 |
| Ammonium | mg N/l | 4,2 | 1,6 | 0,1 | 2,3 | 0,2 | 1,6 |
| Ammonium | mg NH ₄ /l | 5,4 | 2,1 | 0,1 | 3,0 | 0,3 | 2,1 |
| Nitraat | mg N/l | <0,2 | <0,2 | <0,2 | 0,4 | <0,2 | <0,2 |
| Nitraat | mg NO ₃ /l | | | | | | |
| Nitriet | mg N/l | <0,02 | <0,02 | <0,02 | 0,04 | <0,02 | <0,02 |
| Nitriet | mg NO ₂ /l | | | | | | |
| Geoxideerd stikstof (NO ₃ +NO ₂) | mg N/l | <0,2 | <0,2 | <0,2 | 0,4 | <0,2 | <0,2 |
| Kjeldahl stikstof | mg N/l | 5,8 | 1,8 | <0,5 | 3,8 | 1,7 | 1,7 |
| Stikstof totaal | mg N/l | 5,8 | <0,2 | <0,5 | 4,2 | 0,7 | 1,7 |
| Ortho fosfaat | mg P/l | 0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| Ortho fosfaat | mg PO ₄ /l | | | | | | |
| Sulfaat | mg SO ₄ /l | 8 | 144 | 132 | 5 | 124 | 140 |
| Fosfor | mg P/l | 0,4 | <0,2 | <0,2 | 0,5 | <0,2 | <0,2 |
| Cadmium | mg/l | <0,0100 | <0,0100 | <0,0100 | <0,0100 | <0,0100 | <0,0100 |
| Chroom (Cr) | mg/l | <0,015 | <0,015 | <0,015 | <0,015 | <0,015 | <0,015 |
| Zink (Zn) | mg/l | 0,19 | <0,02 | <0,02 | 0,317 | <0,02 | 0,023 |
| Lood (Pb) | mg/l | <0,015 | <0,015 | <0,015 | 0,029 | <0,015 | <0,015 |
| Koper (Cu) | mg/l | <0,015 | <0,015 | <0,015 | 0,029 | <0,015 | <0,015 |
| Kwik | mg/l | <0,0003 | <0,0003 | <0,0003 | <0,0003 | <0,0003 | <0,0003 |
| Nikkel | mg/l | <0,015 | <0,015 | <0,015 | <0,015 | <0,015 | <0,015 |
| Som PAK (6 Borneff) | µg/l | | | | | | |

| | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Som PAK (15 EPA) | µg/l | | | | | | |
| Som PAK (DWR 2011) | µg/l | | | | | | |
| Som PAK (10 VROM) | µg/l | | | | | | |
| Fenantreen | µg/l | 0,046 | <0,01 | 0,014 | 0,015 | <0,01 | <0,01 |
| Fluorantheen | µg/l | 0,018 | <0,01 | <0,01 | 0,013 | <0,01 | <0,01 |
| Minerale olie | µg/l | | | | | | |
| Olietraject | | | | | | | |
| Legionella, Matrix A Procedure 8,9,10 | kve/l | 5000 | <100 | <100 | | | |
| Coliformen 37° C | kve/100 ml | 1402900 | 10 | <10 | | | |
| Escherichia coli 37 °C | kve/100 ml | 7900 | <10 | <10 | | | |
| Enterococcon 100 ml | kve/100 ml | 35000 | <10 | <10 | | | |
| Clostridium perfringens | kve/100 ml | | | | | | |
| Sulfietreducerende clostridia | kve/100 ml | | | | | | |
| Aantal kiemen (48-37) | kve/ml | >3000 | 480 | 11 | | | |
| PAK | | | | | | | |
| Acenaftheen | µg/L | | | | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Acenaftyleen | µg/L | | | | <0,03 | <0,03 | <0,03 |
| Anthraceen | µg/L | | | | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Benzo(a)pyreen | µg/L | | | | 0,035 | <0,01 | <0,01 |
| Benzo((a)anthraceen | µg/L | | | | 0,037 | <0,01 | <0,01 |
| Benzo(b)fluorantheen | µg/L | | | | 0,047 | <0,01 | <0,01 |
| Benzo(k)fluorantheen | µg/L | | | | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| benzo(g,h,i)peryleen | µg/L | | | | 0,052 | <0,01 | <0,01 |
| dibenzo(a,h)anthraceen | µg/L | | | | 0,012 | <0,01 | <0,01 |
| Fenanthreen | µg/L | | | | 0,046 | <0,01 | <0,01 |

| | | | | | | |
|--|------|--|--|-------|-------|-------|
| Fluorantheen | µg/L | | | 0,11 | <0,01 | <0,01 |
| Fluoreen | µg/L | | | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Indeno(1,2,3-cd)pyreen | µg/L | | | 0,045 | <0,01 | <0,01 |
| Naftaleen | µg/L | | | <0,02 | <0,02 | <0,02 |
| Pyreen | µg/L | | | 0,085 | <0,01 | <0,01 |
| TOT16 som 16 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (EPA) - AQUO | µg/L | | | 0,53 | 0 | 0 |
| TOT6 som 6 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (Borneff) - AQUO | µg/L | | | 0,29 | 0 | 0 |

Tabel 40: data pilot Wetteren, influent en effluent

| Parameters | eenheid | 22-11-2022 | | | 20-12-22 | | |
|------------------------------------|----------|------------|--|----------|----------|--|----------|
| | | Influent | Peilbuis na schelpen, voor AA minerals | effluent | Influent | Peilbuis na schelpen, voor AA minerals | effluent |
| Zwevend stof met droging bij 105 C | mg/l | <2 | | <2 | | | |
| Troebelingsgraad | FTE | | | | | | |
| pH | pH-eenh. | 7,7 | | 7,7 | | | |
| Temperatuur | °C | | | | | | |
| Geleidingsvermogen bij 20 °C (EGV) | MS/m | | | | | | |
| Zuurstof (elektrochemisch) | mg/l | | | | | | |
| Chloride (Cl) | mg/l | <3 | | 63 | | | |
| Natrium (Na), na aanzuren | mg/l | | | | | | |

| | | | | | |
|---|-----------------------|-------|-------|--|--|
| Kalium (K), na aanzuren | mg/l | | | | |
| Calcium (Ca), na aanzuren | mg/l | | | | |
| Magnesium (Mg), na aanzuren | mg/l | | | | |
| IJzer (Fe), na aanzuren | mg/l | | | | |
| Mangaan (Mn), na aanzuren | mg/l | | | | |
| Biochemisch zuurstof verbruik | mg O ₂ /l | | | | |
| CZV | mg O ₂ /l | <10 | <10 | | |
| Ammonium | mg N/l | 0,4 | 1,4 | | |
| Ammonium | mg NH ₄ /l | | | | |
| Nitraat | mg N/l | 0,3 | <0,2 | | |
| Nitraat | mg NO ₃ /l | | | | |
| Nitriet | mg N/l | <0,02 | <0,02 | | |
| Nitriet | mg NO ₂ /l | | | | |
| Geoxideerd stikstof (NO ₃ +NO ₂) | mg N/l | 0,3 | <0,2 | | |
| Kjeldahl stikstof | mg N/l | 0,5 | 1,6 | | |
| Stikstof totaal | mg N/l | 0,8 | 1,6 | | |
| Ortho fosfaat | mg P/l | | | | |
| Ortho fosfaat | mg PO ₄ /l | <0,1 | <0,1 | | |
| Sulfaat | mg SO ₄ /l | 6 | 136 | | |
| Fosfor | mg P/l | <0,2 | <0,2 | | |
| Cadmium | mg/l | | | | |
| Chroom (Cr) | mg/l | | | | |
| Zink (Zn) | mg/l | | | | |
| Lood (Pb) | mg/l | | | | |
| Koper (Cu) | mg/l | | | | |

| | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| Kwik | mg/l | | | | | | |
| Nikkel | mg/l | | | | | | |
| Som PAK (6 Borneff) | µg/l | | | | | | |
| Som PAK (15 EPA) | µg/l | | | | | | |
| Som PAK (DWR 2011) | µg/l | | | | | | |
| Som PAK (10 VROM) | µg/l | | | | | | |
| Fenantreen | µg/l | 0,046 | <0,01 | 0,014 | 0,015 | <0,01 | <0,01 |
| Fluorantheen | µg/l | 0,018 | <0,01 | <0,01 | 0,013 | <0,01 | <0,01 |
| Minerale olie | µg/l | | | | | | |
| Olietraject | | | | | | | |
| Legionella, Matrix A Procedure 8,9,10 | kve/l | | Niet gemeten | | <250 | | <166 |
| Coliformen 37° C | kve/100 ml | | Niet gemeten | | 10400 | | 0 |
| Escherichia coli 37 °C | kve/100 ml | | Niet gemeten | | 1300 | | 0 |
| Enterococcen 100 ml | kve/100 ml | | Niet gemeten | | 1400 | | 1 |
| Clostridium perfringens | kve/100 ml | | | | | | |
| Sulfietreducerende clostridia | kve/100 ml | | | | | | |
| Aantal kiemen (48-37) | kve/ml | | Niet gemeten | | 17600 | | 660 |
| PAK | | | | | | | |
| Acenaftheen | µg/L | | | | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Acenaftyleen | µg/L | | | | <0,03 | <0,03 | <0,03 |
| Anthraceen | µg/L | | | | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Benzo(a)pyreen | µg/L | | | | 0,035 | <0,01 | <0,01 |

| | | | | | | |
|--|------|--|--|-------|-------|-------|
| Benzo(a)anthraceen | µg/L | | | 0,037 | <0,01 | <0,01 |
| Benzo(b)fluorantheen | µg/L | | | 0,047 | <0,01 | <0,01 |
| Benzo(k)fluorantheen | µg/L | | | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| benzo(g,h,i)peryleen | µg/L | | | 0,052 | <0,01 | <0,01 |
| dibenzo(a,h)anthraceen | µg/L | | | 0,012 | <0,01 | <0,01 |
| Fenanthreen | µg/L | | | 0,046 | <0,01 | <0,01 |
| Fluorantheen | µg/L | | | 0,11 | <0,01 | <0,01 |
| Fluoreen | µg/L | | | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Indeno(1,2,3-cd)pyreen | µg/L | | | 0,045 | <0,01 | <0,01 |
| Naftaleen | µg/L | | | <0,02 | <0,02 | <0,02 |
| Pyreen | µg/L | | | 0,085 | <0,01 | <0,01 |
| TOT16 som 16 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (EPA) - AQUO | µg/L | | | 0,53 | 0 | 0 |
| TOT6 som 6 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (Borneff) - AQUO | µg/L | | | 0,29 | 0 | 0 |

Tabel 41: data pilot Wetteren, influent en effluent

| Parameters | | 30-08-2023 | | 29-09-23 | |
|------------------------------------|----------|------------|----------|----------|----------|
| | eenheid | Influent | effluent | Influent | effluent |
| Zwevend stof met droging bij 105 C | mg/l | | | | |
| Troebelingsgraad | FTE | | | | |
| pH | pH-eenh. | | | | |
| Temperatuur | °C | | | | |

| | | | | | |
|---|-----------------------|--|--|--|--|
| Geleidingsvermogen bij 20 °C (EGV) | MS/m | | | | |
| Zuurstof (elektrochemisch) | mg/l | | | | |
| Chloride (Cl) | mg/l | | | | |
| Natrium (Na), na aanzuren | mg/l | | | | |
| Kalium (K), na aanzuren | mg/l | | | | |
| Calcium (Ca), na aanzuren | mg/l | | | | |
| Magnesium (Mg), na aanzuren | mg/l | | | | |
| IJzer (Fe), na aanzuren | mg/l | | | | |
| Mangaan (Mn), na aanzuren | mg/l | | | | |
| Biochemisch zuurstof verbruik | mg O ₂ /l | | | | |
| CZV | mg O ₂ /l | | | | |
| Ammonium | mg N/l | | | | |
| Ammonium | mg NH ₄ /l | | | | |
| Nitraat | mg N/l | | | | |
| Nitraat | mg NO ₃ /l | | | | |
| Nitriet | mg N/l | | | | |
| Nitriet | mg NO ₂ /l | | | | |
| Geoxideerd stikstof (NO ₃ +NO ₂) | mg N/l | | | | |
| Kjeldahl stikstof | mg N/l | | | | |
| Stikstof totaal | mg N/l | | | | |
| Ortho fosfaat | mg P/l | | | | |
| Ortho fosfaat | mg PO ₄ /l | | | | |
| Sulfaat | mg SO ₄ /l | | | | |
| Fosfor | mg P/l | | | | |
| Cadmium | mg/l | | | | |

| | | | | | |
|---------------------------------------|------------|--|--|--|--|
| Chroom (Cr) | mg/l | | | | |
| Zink (Zn) | mg/l | | | | |
| Lood (Pb) | mg/l | | | | |
| Koper (Cu) | mg/l | | | | |
| Kwik | mg/l | | | | |
| Nikkel | mg/l | | | | |
| Som PAK (6 Borneff) | µg/l | | | | |
| Som PAK (15 EPA) | µg/l | | | | |
| Som PAK (DWR 2011) | µg/l | | | | |
| Som PAK (10 VROM) | µg/l | | | | |
| Fenantreen | µg/l | | | | |
| Fluorantheen | µg/l | | | | |
| Minerale olie | µg/l | | | | |
| Olietraject | | | | | |
| Legionella, Matrix A Procedure 8,9,10 | kve/l | | | | |
| Coliformen 37° C | kve/100 ml | | | | |
| Escherichia coli 37 °C | kve/100 ml | | | | |
| Enterococcen 100 ml | kve/100 ml | | | | |
| Clostridium perfringens | kve/100 ml | | | | |
| Sulfietreducerende clostridia | kve/100 ml | | | | |
| Aantal kiemen (48-37) | kve/ml | | | | |
| PAK | | | | | |
| Acenaftheen | µg/L | | | | |
| Acenaftheen | µg/L | | | | |
| Anthraceen | µg/L | | | | |

| | | | | | |
|--|------|--|--|--|--|
| Benzo(a)pyreen | µg/L | | | | |
| Benzo(a)anthraceen | µg/L | | | | |
| Benzo(b)fluorantheen | µg/L | | | | |
| Benzo(k)fluorantheen | µg/L | | | | |
| benzo(g,h,i)peryleen | µg/L | | | | |
| dibenzo(a,h)anthraceen | µg/L | | | | |
| Fenanthreen | µg/L | | | | |
| Fluorantheen | µg/L | | | | |
| Fluoreen | µg/L | | | | |
| Indeno(1,2,3-cd)pyreen | µg/L | | | | |
| Naftaleen | µg/L | | | | |
| Pyreen | µg/L | | | | |
| TOT16 som 16 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (EPA) - AQUO | µg/L | | | | |
| TOT6 som 6 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (Borneff) - AQUO | µg/L | | | | |

Tabel 42: data pilot Wetteren, influent en effluent

| Parameters | | 30-08-2023 | | 29-09-23 | |
|------------------------------------|----------|------------|----------|----------|----------|
| | eenheid | Influent | effluent | Influent | effluent |
| Zwevend stof met droging bij 105 C | mg/l | 29 | <2 | 5 | <3 |
| pH | pH-eenh. | 7.4 | 7,5 | 7.6 | 7,4 |
| Chloride (Cl) | mg/l | 18 | 18 | 36 | 16 |

| | | | | | |
|--|-----------------------|---------|---------|---------|---------|
| Biochemisch zuurstof verbruik | mg O ₂ /l | <3 | <3 | 13 | <3 |
| CZV | mg O ₂ /l | 29 | <10 | 13 | <10 |
| Ammonium | mg N/l | 2.3 | 0,2 | 1.7 | 0,2 |
| Nitraat | mg N/l | 1.4 | <0,2 | 0.9 | <0,2 |
| Nitriet | mg N/l | 0.39 | <0,2 | 0.07 | <0,2 |
| Geoxideerd stikstof (NO ₃ +NO ₂) | mg N/l | 1.8 | <0,2 | 1.0 | <0,2 |
| Kjeldahl stikstof | mg N/l | 3.3 | <0,5 | 1.9 | <0,5 |
| Stikstof totaal | mg N/l | 5.1 | <0,5 | 2.9 | <0,5 |
| Ortho fosfaat | mg P/l | 0.2 | <0,1 | 0.1 | <0,1 |
| Totaal fosfor | mg P/l | 0.5 | <0,2 | 0.4 | <0,2 |
| Sulfaat | mg SO ₄ /l | 80 | 64 | 28 | 56 |
| Cadmium | mg/l | <0.0100 | <0,0100 | <0.0100 | <0,0100 |
| Chroom (Cr) | mg/l | <0.015 | <0,015 | <0.015 | <0,015 |
| Zink (Zn) | mg/l | 0.120 | <0,020 | 0.082 | <0,020 |
| Lood (Pb) | mg/l | <0.015 | <0,015 | <0.015 | <0,015 |
| Koper (Cu) | mg/l | 0.017 | <0,015 | <0.015 | <0,015 |
| Kwik | mg/l | <0.0003 | <0,003 | <0.0003 | <0,003 |
| Nikkel | mg/l | <0.015 | <0,015 | <0.015 | <0,015 |
| TOT16 som 16 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (EPA) - AQUO | µg/L | 0.01 | -- | 0.01 | 0,01 |
| TOT6 som 6 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (Borneff) - AQUO | µg/L | 0.01 | -- | 0.01 | 0,01 |
| Legionella pneumophila (kve/L) | kve/l | | | <250 | <250 |
| Coliformen 37° C (Kve/100 ml) | | | | 17500 | 790 |

| | | | | | |
|---|------------|-------|--|---------|-------|
| Escherichia coli 37 °C | | | | 2 | 5 |
| Enterococci 100 ml (Kve/100 ml) | | | | 220 | 76 |
| Clostridium perfringens (Kve/100 ml) | | | | | |
| Sulfietreducerende clostridia (Kve/100 ml) | kve/100 ml | | | | |
| Legionella non-pneumophila (kve/L) | kve/100 ml | | | <250 | <250 |
| Totaal aantal legionella species (kve/L) | kve/100 ml | | | <250 | <250 |
| Aantal kiemen (48-37) (Kve/ml) | kve/100 ml | | | >3000*) | 330 |
| | | | | | |
| Aantal kiemen (48-37) | kve/ml | | | | |
| ACEN_PAK_EX | µg/L | <0.01 | | <0.01 | <0.01 |
| ACEY_PAK_EX | µg/L | <0.03 | | <0.03 | <0.03 |
| ANTH_PAK_EX | µg/L | <0.01 | | <0.01 | <0.01 |
| BEAP_PAK_EX | µg/L | <0.01 | | <0.01 | <0.01 |
| BENA_PAK_EX | µg/L | <0.01 | | <0.01 | <0.01 |
| BENB_PAK_EX | µg/L | <0.01 | | <0.01 | <0.01 |
| BENK_PAK_EX | µg/L | <0.01 | | <0.01 | <0.01 |
| BGHI_PAK_EX | µg/L | <0.01 | | <0.01 | <0.01 |
| CHRY_PAK_EX | µg/L | <0.01 | | <0.01 | <0.01 |
| DIBE_PAK_EX | µg/L | <0.01 | | <0.01 | <0.01 |
| FENA_PAK_EX | µg/L | <0.01 | | <0.01 | <0.01 |
| FLUA_PAK_EX | µg/L | 0.012 | | <0.01 | <0.01 |
| FLUO_PAK_EX | µg/L | <0.01 | | <0.01 | <0.01 |

| | | | | | |
|-------------|------|-------|--|-------|-------|
| INDE_PAK_EX | µg/L | <0.01 | | <0.01 | <0.01 |
| NAFT_PAK_EX | µg/L | <0.02 | | <0.02 | <0.02 |
| PYRE_PAK_EX | µg/L | <0.01 | | <0.01 | <0.01 |

Tabel 43: data pilot Wetteren, influent en effluent

| Parameters | | 20-10-2023 | | 31-10-23 | |
|---|-----------------------|------------|----------|----------|----------|
| | eenheid | Influent | effluent | Influent | effluent |
| Zwevend stof met droging bij 105 C | mg/l | 10 | 2 | 9 | 3 |
| pH | pH-eeenh. | 7,3 | 7,3 | 7,8 | 7,4 |
| Chloride (Cl) | mg/l | <3 | 15 | <3 | 16 |
| Biochemisch zuurstof verbruik | mg O ₂ /l | <3 | <3 | <3 | <3 |
| CZV | mg O ₂ /l | <10 | <10 | <10 | <10 |
| Ammonium | mg N/l | 0.1 | 0,2 | 0.1 | 0,2 |
| Nitraat | mg N/l | <0.2 | <0,2 | 0.5 | <0,2 |
| Nitriet | mg N/l | <0.02 | <0,2 | <0.02 | <0,2 |
| Geoxideerd stikstof (NO ₃ +NO ₂) | mg N/l | <0.2 | <0,2 | 0.5 | <0,2 |
| Kjeldahl stikstof | mg N/l | <0.5 | <0,5 | <0.5 | <0,5 |
| Stikstof totaal | mg N/l | <0.5 | <0,5 | 0.7 | <0,5 |
| Ortho fosfaat | mg P/l | <0.1 | <0,1 | <0.1 | <0,1 |
| Totaal fosfor | mg P/l | <0.2 | <0,2 | <0.2 | <0,2 |
| Sulfaat | mg SO ₄ /l | <5 | 46 | <5 | 56 |
| Cadmium | mg/l | <0.0100 | <0,0100 | <0.0100 | <0,0100 |
| Chroom (Cr) | mg/l | <0.015 | <0,015 | <0.015 | <0,015 |
| Zink (Zn) | mg/l | 0.112 | <0,020 | 0.194 | 0,051 |
| Lood (Pb) | mg/l | <0.015 | <0,015 | <0.015 | <0,015 |

| | | | | | |
|--|------------|---------|--------|---------|--------|
| Koper (Cu) | mg/l | <0.015 | <0,015 | <0.015 | <0,015 |
| Kwik | mg/l | <0.0003 | <0,003 | <0.0003 | <0,003 |
| Nikkel | mg/l | <0.015 | <0,015 | <0.015 | <0,015 |
| TOT16 som 16 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (EPA) - AQUO | µg/L | | 0,01 | 0.05 | 0,03 |
| TOT6 som 6 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (Borneff) - AQUO | µg/L | | 0,01 | 0.01 | 0,01 |
| Legionella pneumophila (kve/L) | kve/l | | | <250 | <166 |
| Coliformen 37° C (Kve/100 ml) | | | | 11.200 | 50 |
| Escherichia coli 37 °C | | | | 2200 | <10 |
| Enterococcen 100 ml (Kve/100 ml) | | | | 1600 | 20 |
| Clostridium perfringens (Kve/100 ml) | | | | 100 | 0 |
| Sulfietreducerende clostridia (Kve/100 ml) | | | | 100 | 0 |
| Legionella non-pneumophila (kve/L) | kve/100 ml | | | <250 | <166 |
| Totaal aantal legionella species (kve/L) | kve/100 ml | | | <250 | <166 |
| Aantal kiemen (48-37) (Kve/ml) | kve/100 ml | | | | <166 |
| ACEN_PAK_EX | µg/L | | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| ACEY_PAK_EX | µg/L | | <0.03 | <0.01 | <0.03 |
| ANTH_PAK_EX | µg/L | | <0.01 | | <0.01 |
| BEAP_PAK_EX | µg/L | | <0.01 | <0.01 | <0.01 |

| | | | | | |
|-------------|------|--|-------|-------|-------|
| BENA_PAK_EX | µg/L | | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| BENB_PAK_EX | µg/L | | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| BENK_PAK_EX | µg/L | | <0.01 | | <0.01 |
| BGHI_PAK_EX | µg/L | | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| CHRY_PAK_EX | µg/L | | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| DIBE_PAK_EX | µg/L | | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| FENA_PAK_EX | µg/L | | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| FLUA_PAK_EX | µg/L | | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| FLUO_PAK_EX | µg/L | | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| INDE_PAK_EX | µg/L | | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| NAFT_PAK_EX | µg/L | | <0.02 | 0.033 | 0.027 |
| PYRE_PAK_EX | µg/L | | <0.01 | <0.01 | <0.01 |

VII Analyse data pilot Den Helder

Tabel 44: data pilot Den Helder

| parameter | eenheid | 25/03/21 | | 25/06/21 | | 16/09/21 | | 23/12/21 | |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | influent | effluent | influent | effluent | influent | effluent | influent | effluent |
| Troebelingsgraad | FTE | 32 | 46 | 35 | 4,6 | | 2,3 | 0,35 | 6,2 |
| pH | pH-eenh. | 8 | 7,9 | 7,4 | 7,2 | | | 7,7 | 7,5 |
| Temperatuur | °C | 9,7 | 7,5 | 15,5 | 14,8 | | | 7,4 | 8,8 |
| Geleidingsvermogen bij 20 °C (EGV) | MS/m | 53,4 | 398 | 121 | 212 | | 135 | 78,5 | 133 |
| Zuurstof (elektrochemisch) | mg/l | 10,5 | 1,2 | <0,5 | NB | | | 0,9 | |
| Natrium (Na), na aanzuren | mg/l | 56,6 | 710 | 107 | 373 | | 180 | 53,8 | 179 |
| Kalium (K), na aanzuren | mg/l | 5,17 | 30,9 | 10,7 | 27,4 | | 19,3 | 8,01 | 18,6 |
| Calcium (Ca), na aanzuren | mg/l | 53 | 126 | 104 | 79,4 | | 74 | 109 | 86 |
| Magnesium (Mg), na aanzuren | mg/l | 8,3 | 82,4 | 18,4 | 51,6 | | 41,3 | 16,9 | 51 |
| IJzer (Fe), na aanzuren | mg/l | 0,592 | 0,639 | 0,198 | 0,165 | | 0,097 | 0,014 | 1,58 |
| Mangaan (Mn), na aanzuren | mg/l | 0,032 | 0,18 | 0,422 | 0,237 | | 0,46 | 0,032 | 1,56 |
| Ammonium | mg/l | 0,35 | 1,25 | 0,9 | 0,84 | | 0,77 | 0,1 | 0,78 |
| Chroom (Cr) | µg/l | 1,14 | 0,697 | <0,5 | <0,5 | | <0,5 | <0,5 | <0,5 |
| Zink (Zn) | µg/l | 19,5 | 6,24 | 14,5 | <2,0 | | <2,0 | 5,62 | 7,27 |
| Lood (Pb) | µg/l | 8,35 | <0,5 | 1,19 | <0,5 | | <0,5 | <0,5 | <0,5 |
| Koper (Cu) | µg/l | 9,88 | 2,35 | 5,76 | <1 | | <1 | 3,21 | <1 |
| Som PAK (6 Borneff) | µg/l | | | | | | | | |
| Som PAK (15 EPA) | µg/l | 0,1 | <0,01 | 0,08 | <0,01 | | <0,01 | <0,01 | <0,01 |

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------|--------|-------|------|-------|--|-------|-------|-------|
| Som PAK (DWR 2011) | µg/l | 0,16 | <0,01 | 0,27 | <0,01 | | <0,01 | 0,01 | 0,07 |
| Som PAK (10 VROM) | µg/l | 0,1 | NTB | 0,17 | <0,01 | | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Fenantreen | µg/l | <0,2 | NTB | 0,22 | <0,2 | | <0,2 | <0,2 | <0,2 |
| Fluorantheen | µg/l | 0,02 | <0,01 | 0,03 | <0,01 | | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Minerale olie | µg/l | 0,02 | <0,01 | 0,05 | <0,01 | | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Olietraject | µg/l | <25 | <25 | <25 | <25 | | <25 | <25 | <25 |
| Legionella, Matrix A Procedure 8,9,10 | kve/l | <100 | <100 | 200 | <100 | | <100 | <100 | <100 |
| Coliformen 37° C | kve/100 ml | >12000 | 1 | 550 | 20 | | 1 | 3 | 4 |
| Escherichia coli 37 °C | kve/100 ml | 0 | 0 | NB | 20 | | 0 | NB | 1 |
| Enterococcen 100 ml | kve/100 ml | 20 | 0 | 15 | 19 | | 1 | 190 | 0 |

VIII Criteria Donut Model uitgewerkt voor een Technisch Ontwerp

| Criteria Donut model | Logica voor het beoordelen van een technisch ontwerp als onderdeel van de circulaire waterketen |
|--------------------------------|--|
| Energie en stromen | Fysieke kenmerken |
| Energieverbruik | <p><i>Benodigde Informatie</i> Wat is het energieverbruik van het technisch ontwerp? Het gaat hierbij om het energieverbruik van de bouw van het technische ontwerp en de operatie van het ontwerp.</p> <p>Hierbij kan evt. ook gedacht worden aan het energieverbruik dat bespaard wordt doordat er <i>minder effluent getransporteerd en gezuiverd</i> (het water wordt lokaal opgevangen). Dit geldt ook voor de energie die bespaard wordt omdat er <i>minder drinkwater gewonnen, gezuiverd en gedistribueerd</i> hoeft te worden (het water wordt hergebruikt)</p> <p><i>Beoordeling</i> Hoe lager het energieverbruik, tijdens de bouw en de operatie voor de levensduur van het technisch ontwerp, hoe hoger de score (--/-/0/+ /++).</p> <p><i>Extra informatie ter ondersteuning van de beoordeling</i> Onder verbruik wordt zowel oorspronkelijke/ ruwe/ nieuwe energie als teruggewonnen energie verstaan. Innovaties dragen hieraan bij met 'Refuse/ Rethink/ Reduce' maatregelen.</p> |
| Grondstoffen- en Waterverbruik | <p><i>Benodigde Informatie</i> Wat is het grondstoffen- en waterverbruik van het technisch ontwerp? Het gaat hierbij om het grondstoffen en waterverbruik van de bouw van het technische ontwerp en de operatie van het ontwerp.</p> <p>Hierbij kan evt. ook gedacht worden aan het grondstoffen- en waterverbruik dat bespaard wordt doordat er <i>minder effluent getransporteerd en gezuiverd</i> (het water wordt lokaal opgevangen). Dit geldt ook voor de energie die bespaard wordt omdat er <i>minder drinkwater gewonnen, gezuiverd en gedistribueerd</i> hoeft te worden (het water wordt hergebruikt)</p> <p><i>Beoordeling</i> Hoe lager het energieverbruik, tijdens de bouw en de operatie voor de levensduur van het technisch ontwerp, hoe hoger de score (--/-/0/+ /++).</p> <p><i>Extra informatie ter ondersteuning van de beoordeling</i></p> |

| | |
|------------------------------------|--|
| | Onder verbruik worden zowel oorspronkelijke/ ruwe/ nieuwe grondstoffen als teruggewonnen grondstoffen verstaan. Innovaties dragen hieraan bij met 'Refuse/ Rethink/ Reduce' maatregelen |
| Terugwinning Energie | <p><i>Benodigde Informatie</i> Welk type en hoeveel energie wordt er teruggewonnen (biogas, groen gas of energie uit methaan) door het toepassen van het technisch ontwerp? Het gaat hierbij om de energie die wordt teruggewonnen tijdens de bouw van het technische ontwerp en de operatie van het ontwerp.</p> <p><i>Beoordeling</i> Hoe hoger het percentage van het totale energieverbruik dat wordt teruggewonnen, tijdens de bouw en de operatie voor de levensduur van het technisch ontwerp, hoe hoger de score (--/-/0/+/>++).</p> <p><i>Extra informatie ter ondersteuning van de beoordeling</i> Een "++" score geeft aan dat het systeem meer energie genereert dan dat het verbruikt. Innovaties dragen hieraan bij met 'Reuse/ Recycle/ Recover' maatregelen.</p> |
| Terugwinning grondstoffen en water | <p><i>Benodigde Informatie</i> Welk(e) (type) en hoeveel grondstoffen en/of water wordt er teruggewonnen door het toepassen van het technisch ontwerp? Het gaat hierbij om de grondstoffen en water die wordt teruggewonnen tijdens de bouw van het technische ontwerp en de operatie van het ontwerp.</p> <p><i>Beoordeling</i> Hoe hoger het percentage van het totale grondstoffen- en waterverbruik (bijv. grijswater) dat wordt teruggewonnen tijdens de bouw en de operatie voor de levensduur van het technisch ontwerp, hoe hoger de score (--/-/0/+/>++).</p> <p><i>Extra informatie ter ondersteuning van de beoordeling</i> Innovaties dragen hieraan bij met 'Reuse/ Recycle/ Recover' maatregelen</p> |
| Gebruik duurzame energie | <p><i>Benodigde Informatie</i> Wat is het duurzame energieverbruik van het technisch ontwerp? Het gaat hierbij om het energieverbruik tijdens de bouw van het technische ontwerp en de operatie van het ontwerp.</p> <p><i>Beoordeling</i> Hoe hoger het percentage van het totale grondstoffen- en waterverbruik (bijv. grijswater) dat wordt teruggewonnen tijdens de bouw en de operatie voor de levensduur van het technisch ontwerp, hoe hoger de score (--/-/0/+/>++).</p> <p><i>Extra informatie ter ondersteuning van de beoordeling</i> Onder 'duurzame energie' wordt uitsluitend verstaan windenergie, zonne-energie, waterkracht, aard- en bodemwarmte, groene waterstof, en duurzame biomassastromen (niet alle biomassa). Innovaties dragen hieraan bij met 'Replace" maatregelen</p> |

| | |
|---|---|
| <p>Gebruik duurzame grondstoffen en water</p> | <p><i>Benodigde Informatie</i> Wat is het grondstoffen en waterverbruik dat met hergebruikte materie is ingevuld? Het gaat hierbij om het grondstoffen en waterverbruik van hergebruikte materie tijdens de bouw van het technische ontwerp en de operatie van het ontwerp.</p> <p><i>Beoordeling</i> Hoe hoger het percentage van het verbruik van grondstoffen en water dat met hergebruikte materie wordt ingevuld, tijdens de bouw en de operatie voor het levensduur van het systeem, hoe hoger de score (--/-/0/+/> </p> |
| <p>Systeemeigenschappen</p> | <p>Kenmerken op systeemniveau</p> |
| <p>Zelfvoorzienendheid</p> | <p><i>Benodigde Informatie</i> Beschrijf in hoeverre het toepassen van het technische ontwerp er voor zorgt dat waterschappen, waterbedrijven, de gemeente en/of burgers minder afhankelijk zijn van andere organisaties, landen en bronnen voor de toevoer van grondstof en energie.</p> <p><i>Beoordeling</i> Hoe minder afhankelijk het lokale watersysteem is van andere locaties, landen, mensen enzovoort, hoe hoger de score (--/-/0/+/> </p> |
| <p>Hergebruikspotentie en Adaptiviteit</p> | <p><i>Benodigde informatie</i> Beschrijf in hoeverre het technische ontwerp is gebouwd is op basis van modulaire of 'cradle-to-cradle principes', waardoor onderdelen van het ontwerp eenvoudig weer elders toegepast of hergebruikt kunnen worden. Het gaat hierbij om de adaptiviteit en flexibiliteit van (de onderdelen) van het technische ontwerp. In hoeverre zijn onderdelen aanpasbaar, veelzijdig, vervangbaar, omvormbaar, schaalbaar of verplaatsbaar?</p> <p><i>Beoordeling</i> Hoe hoger het percentage van de componenten en installaties die hergebruikt kunnen worden hoe hoger de score (--/-/0/+/> </p> |

| | |
|--------------------|--|
| | <p>Een hogere score betekent dat het fysieke systeem meer adaptief, flexibel, en modulair is. Deze eigenschappen verlengen de economische levensduur van het systeem: Aanpasbaar (verandering van taak); Veelzijdig (verandering van ruimte); Vervangbaar (verandering van prestatie); Omvormbaar (verandering van gebruik); Schaalbaar (verandering van formaat); Verplaatsbaar (verandering van locatie).</p> <p>Deze eigenschappen maken de volgende maatregelen mogelijk: 'Reuse/Repair/ Refurbish/ Remanufacture/ Repurpose'.</p> |
| Financiële waarde | <p><i>Benodigde informatie</i> Beschrijf in hoeverre het technische ontwerp bijdraagt aan het betaalbaar houden van de waterketen (drinkwaterprijs en waterschapsbelasting). In hoeverre worden 'de vervuiler betaalt' en 'de belanghebbende betaalt' toegepast in het verdienmodel van het technische ontwerp? In hoeverre worden kosten (schade) in de toekomst of elders afgewend door het technische ontwerp?</p> <p><i>Beoordeling</i> Hoe hoger het percentage Totale Revenu gedeeld door de Totale Kosten, over de hele waterketen genomen, hoe hoger de score (--/-/0/+/>++).</p> <p><i>Extra informatie ter ondersteuning van de beoordeling</i> Financiële waarde is ook een kenmerk van de efficiëntie en doelmatigheid van het systeem als geheel, en ook de bijdrage aan economische waarden zoals het vestigingsklimaat, werkgelegenheid. Denk bijvoorbeeld ook aan de verborgen kosten van waterverontreiniging, die onder meer tot uiting komen in de kosten voor waterbehandeling.</p> |
| Integraliteit | <p><i>Benodigde informatie</i> Beschrijf in hoeverre het technische ontwerp bijdraagt aan het oplossen van uitdagingen in andere sectoren (energie, adaptatie, voedsel, mobiliteit en klimaat). In hoeverre draagt het toepassen van het technische ontwerp het versterken van de samenwerking tussen organisaties in de waterketen?</p> <p><i>Beoordeling</i> Hoe hoger het percentage Totale Revenu gedeeld door de Totale Kosten, over de hele waterketen genomen, hoe hoger de score (--/-/0/+/>++).</p> |
| Ecologische waarde | <p><i>Benodigde informatie</i> Beschrijf in hoeverre het technische ontwerp bijdraagt aan het verbeteren of de ontwikkeling van de ecologische kwaliteit van (lokale) natuur- en watersystemen of (bescherming levert aan) de biodiversiteit.</p> <p><i>Beoordeling</i> Hoe hoger de kwaliteit van het ecosysteem en het milieu (lucht, bodem, groen, water, geluid) met directe baten (zoals ecosysteemdiensten) en indirecte baten (zoals biodiversiteit en bescherming van kwetsbare soorten) zowel lokaal als mondiaal (MvO), hoe hoger de score (--/-/0/+/>++).</p> |

| Waarden voor Mensen | Sociaal politieke kenmerken |
|-------------------------------|---|
| Volksgezondheid | <p><i>Benodigde informatie</i> Beschrijf in hoeverre het toepassen van het technische ontwerp meer, minder of gelijke risico's voor de volksgezondheid met zich meebrengt. Dit kan te maken hebben met een specifieke toepassing van het ontwerp of voor de gehele waterketen.</p> <p><i>Beoordeling</i> Hoe lager het risico op ziekte en hoe meer bevorderend het systeem is voor de volksgezondheid, van mensen zowel lokaal als mondiaal (MvO) tijdens de bouw en gedurende de operatie voor de levensduur van het systeem, hoe hoger de score (--/-/0/+/> </p> |
| Veiligheid | <p><i>Benodigde informatie</i> Beschrijf in hoeverre het toepassen van het technisch ontwerp meer, minder of gelijke risico's voor de (water)veiligheid met zich meebrengt. Dit kan te maken hebben met een specifieke toepassing van het ontwerp of voor de gehele waterketen.</p> <p><i>Beoordeling</i> Hoe hoger het beschermingsniveau tegen overstromingen, van zowel de zee als de rivieren, en andere risico's, zoals bijvoorbeeld de risico op ontploffing of brand inclusief economische risico's en slachtofferrisico's, hoe hoger de score (--/-/0/+/> </p> |
| Inclusiviteit | <p><i>Benodigde informatie</i> Beschrijf in hoeverre het toepassen van het technisch ontwerp sociale groepen betreft bij het gebruik van de toepassing, lokale kennis benut of zorgt voor een toename van het bewustzijn over de waterketen of watergerelateerde uitdagingen.</p> <p><i>Beoordeling</i> Hoe hoger de mate van <i>participatie</i> (hoger op de participatieladder), <i>pluralisme</i> (diversiteit aan culturele en sociale (belangen)groepen die betrokken zijn), en <i>bewustzijn</i> (de mate van kennis over de waterketen), lokale kennis benutten, hoe hoger de score (--/-/0/+/> </p> |
| Comfort | <p><i>Benodigde informatie</i> Beschrijf in hoeverre het toepassen van het technisch ontwerp zorgt voor meer comfort bij gebruikers of omwonenden door te ontzorgen, het verminderen/voorkomen van overlast, verhoogd gebruiksgemak of grotere klanttevredenheid.</p> <p><i>Beoordeling</i> Hoe hoger de mate van ontzorging (bijv. geen wateroverlast), gebruiksgemak (bijv. geen gedragsaanpassing gevraagd) en (klant)tevredenheid (bijv. door een hoge mate van leveringszekerheid), hoe hoger de score (--/-/0/+/> </p> |
| Kwaliteit van de leefomgeving | <p><i>Benodigde informatie</i></p> |

Beschrijf in hoeverre het toepassen van het technisch ontwerp de kwaliteit van de leefomgeving beïnvloedt. Zorgt de constructie, bouw of plaatsing van het technische ontwerp in de ruimtelijke omgeving voor een meer of minder aantrekkelijke plek? Neemt het technische ontwerp veel of weinig (openbare) ruimte in beslag?

Beoordeling

Hoe hoger het geestelijke (geluk), lichamelijke en sociale welbevinden van mensen, als resultaat van een aantrekkelijke (aesthetische en culturele aspecten) en gevarieerde openbare ruimte die voorziet in prettig wonen en recreëren (belevingswaarde), hoe hoger de score (--/-/0/+ /++)

IX Informatiesheet beoordeling

| Criteria Donut model | Geen toepassing | URS. Bufferen en benutten regenwater Innovatief ontwerp voor hergebruik voor speel- of brouwwater <i>(zwemwaterkwaliteit)</i> | Buffertank met zuivering. Bufferen en benutten regenwater Combi Ontwerp, hergebruik voor speel- of brouwwater <i>(zwemwaterkwaliteit)</i> | URS. Bufferen en benutten regenwater Innovatief ontwerp voor hergebruik sproei- of bluswater <i>(sproeiwaterkwaliteit)</i> | Kratten. Bufferen en benutten regenwater Standaard ontwerp, hergebruik voor sproei- of bluswater <i>(regenwaterkwaliteit)</i> | Kratten. Bufferen en infiltreren Standaard ontwerp, geen hergebruik van water <i>(regenwaterkwaliteit)</i> |
|--|---|--|--|---|--|---|
| Energie en stofstromen | | | | | | |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Productie</i> 2. <i>Transport</i> 3. <i>Bouw</i> 4. <i>Beheer</i> | <p>Er wordt energie gebruikt om drinkwater te produceren en te transporteren.</p> <p>Het afvoeren en verwerken van regenwater kost ook energie. Evenals het zuiveren van regenwater door een RWZI.</p> <p>Er wordt ook energie voor de bouw en operatie van een RWZI, drinkwaterproductie en riolering,</p> | <p>De productie van natuurlijke materialen (AA Ecoschelpenmix) kost geen energie. Winning, transport en het zeven kost wel energie. De productie van folie en geovlies (al wordt folie/geovlies niet bij elk ontwerp gebruikt) en het buismateriaal kost wel energie.</p> <p>De bouw en het grondwerk kosten minder energie en geen of minder vaak bronbemaling.</p> <p>Bij hergebruik van water wordt er energie verbruikt voor de pomp (niet in het geval van speelwater, waar</p> | <p>Productie van de tank/beton, leidingmateriaal, de UV unit, filter (kunststof/staal) kost energie. Filterzand is natuurlijk materiaal en productie kost geen energie. Winning, zeven en transport kost wel energie.</p> <p>Transport van het materiaal kost ook energie. Evenals het grondwerk, bronbemaling en de bouw van het ontwerp.</p> <p>Voor hergebruik van water, wordt energie verbruikt voor de pomp om water door filter en UV unit te persen (0,3 Bar), energie voor UV lampen.</p> | <p>De productie van natuurlijke materialen (AA Ecoschelpenmix) kost geen energie. Winning, transport en het zeven kost wel energie. De productie van folie en geovlies (al wordt folie/geovlies niet bij elk ontwerp gebruikt) en het buismateriaal kost wel energie.</p> <p>De bouw en het grondwerk kosten minder energie en geen of minder vaak bronbemaling.</p> <p>Bij hergebruik van water wordt er energie verbruikt voor de pomp.</p> | <p>De productie van kratten, leidingmateriaal en folie kost veel energie.</p> <p>Transport van het materiaal kost ook energie. Evenals het grondwerk en de bouw van het ontwerp.</p> <p>Energie voor leegpompen, reinigen en onderhouden van krattensystemen.</p> <p>Bij hergebruik van water wordt er energie verbruikt voor de pomp.</p> | <p>De productie van kratten, leidingmateriaal en folie kost veel energie.</p> <p>Transport van het materiaal kost ook energie. Evenals het grondwerk en de bouw van het ontwerp.</p> <p>Energie voor leegpompen, reinigen en onderhouden van krattensystemen.</p> |

| | | | | | | |
|---------------------------------------|---|---|---|--|--|--|
| | <p>maar dit is niet meegenomen in deze analyse.</p> | <p>veelal handpomp wordt toegepast).</p> <p>Op basis van de LCA (MKI) van de AA Schelpenmix zijn weinig uitspraken te doen over het energieverbruik van het technische ontwerp. Volgens de LCA is de totale milieupact voor de AA Ecoschelpenmix €2,89 per ton. Het gaat hierbij om verscheidene milieueffecten die veroorzaakt worden in de totale levenscyclus (100jaar) van de AA Ecoschelpenmix. Transport naar locatie en aanleg heeft daarbij de meeste impact.</p> | | <p>Op basis van de LCA (MKI) van de AA Ecoschelpenmix zijn weinig uitspraken te doen over het energieverbruik van het technische ontwerp. Volgens de LCA is de totale impact voor de AA Ecoschelpenmix 2,89eu per ton. Het gaat hierbij om verscheidene milieueffecten die veroorzaakt worden in de totale levenscyclus (100jaar) van de AA Ecoschelpenmix. Transport naar locatie en aanleg heeft daarbij de meeste impact.</p> | | |
| <p>Grondstoffen- en Waterverbruik</p> | <p>Er worden materialen als hulpstoffen ingezet voor het produceren van drinkwater. Voor het verwerken van regenwater is dit verwaarloosbaar.</p> <p>Er wordt water verbruikt voor het verwerken van regenwater en produceren van</p> | <p>Folie (EPDM), leidingmateriaal (PP omhulde drains), geovlies, 80/90% AA Ecoschelpenmix, AA-minerals (10/20%). Volume drain 0,00004% van URS en folie 0,002% van URS, dus relatief beperkt tov alternatieven.</p> <p>Er wordt water verbruikt voor de 'productie' van de AA Ecoschelpenmix. De schelpen worden gespoeld.</p> | <p>Beton (is ook water voor nodig), technische installatie met pomp, filterunit en UV unit (mogelijk ook regelapparatuur)</p> | <p>Folie, leidingmateriaal, schelpen, AA-minerals.</p> <p>Er wordt water verbruikt voor de 'productie' van de AA Ecoschelpenmix. De schelpen worden gespoeld.</p> | <p>Veel kunststof voor folie, kratten en leidingmateriaal. Geen waterverbruik.</p> | <p>Veel kunststof voor folie, kratten en leidingmateriaal. Geen waterverbruik.</p> |

| | | | | | | |
|---|--|---|---|---|--|--|
| | <p>drinkwater, maar dat is verwaarloosbaar voor deze studie.</p> <p>De bouw van een RWZI, riolering en drinkwaterproductiesystemen zijn niet meegenomen in deze analyse.</p> | | | | | |
| Terugwinning Energie | Geen terugwinning energie | Geen terugwinning energie | Geen terugwinning energie | Geen terugwinning energie | Geen terugwinning energie | Geen terugwinning energie |
| Terugwinning grondstoffen en water | Er is geen sprake van terugwinning. Er wordt alleen gekeken naar <i>hergebruik</i> van regenwater. | Hergebruik van water. Dit water wordt opgewerkt tot zwemwaterkwaliteit. | Hergebruik van water. Dit water wordt opgewerkt tot zwemwaterkwaliteit. | Hergebruik van water. Dit water wordt opgewerkt tot sproeiwaterkwaliteit. | Hergebruik van water. Dit water wordt opgewerkt tot regenwaterkwaliteit. | Geen hergebruik. Infiltratie valt niet onder hergebruik. |
| Gebruik duurzame Energie | Nee. Er wordt geen duurzame energie gebruikt, omdat er geen energie wordt gebruikt. | Energieverbruik voor de pomp tijdens de operatie kan duurzaam zijn. | Energieverbruik voor de pomp en het UV licht kan duurzaam zijn, maar is niet vaak het geval. | Energieverbruik voor de pomp tijdens de operatie kan duurzaam zijn. | Energieverbruik voor de pomp tijdens de operatie kan duurzaam zijn. | Geen energie verbruikers aanwezig. |
| Gebruik duurzame grondstoffen- en water | Nee, de materialen (hulpstoffen) die gebruikt worden bij de verwerking van regenwater of | AA Ecoschelpenmix en AA minerals, natuurlijk duurzaam (niet geproduceerd) materiaal. AA Ecoschelpenmix is hernieuwbare grondstof, AA Minerals bestaat deels uit | Nee, gerecycled beton is niet aan te raden voor deze toepassing. Overige materialen (geovlies, EPDM) zijn standaard (zie ook andere ontwerpen). | AA Ecoschelpenmix en AA Minerals, natuurlijk duurzaam (niet geproduceerd) materiaal. AA Ecoschelpenmix is hernieuwbare grondstof, AA Minerals bestaat deels uit | Toepassen gerecycled kunststof. Overige materialen (geovlies, EPDM) zijn standaard (zie ook andere ontwerpen). | Toepassen gerecycled kunststof. Overige materialen (geovlies, EPDM) zijn standaard (zie ook andere ontwerpen). |

| | | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|--|---|--|---|
| | productie van drinkwater zijn niet duurzaam. | gerecyclede reststromen. Overige materialen (geovlies, EPDM) zijn standaard (zie ook andere ontwerpen). | | gerecyclede reststromen. Overige materialen (geovlies, EPDM) zijn standaard (zie ook andere ontwerpen). | | |
| Systeemeigenschappen | | | | | | |
| Zelfvoorzienendheid | <p>Burgers en bedrijven zijn afhankelijk van de gemeente om wateroverlast te voorkomen door het aanleggen van (extra) regenriool.</p> <p>Afhank. Drinkwaterbedrijf. Monitoring van waterkwaliteit.</p> | <p>Ook zorgt het ervoor dat wateroverlast wordt tegengegaan en zijn burgers minder afhankelijk van gemeenten waterschappen voor het aanleggen en onderhouden van een regenriool.</p> <p>Het technisch systeem heeft weinig aandacht nodig. Nagenoeg geen onderhoud door zelfreinigende karakter. Weinig beheer, maar het is wel nodig om waterkwaliteit te beoordelen/monitoren bij gebruik voor speel- of brouwwater.</p> | <p>Ook zorgt het ervoor dat wateroverlast wordt tegengegaan en zijn burgers minder afhankelijk van gemeenten waterschappen voor het aanleggen en onderhouden van een regenriool.</p> <p>Matige aandacht, wegens het spoelen van de filter. Geproduceerde materialen als UV lampen moeten incidenteel vervangen, reinigen lampen. Het is wel nodig om waterkwaliteit te beoordelen/monitoren bij gebruik voor speel- of brouwwater.</p> | <p>Ook zorgt het ervoor dat wateroverlast wordt tegengegaan en zijn burgers minder afhankelijk van de gemeente voor het aanleggen en onderhouden van een regenriool.</p> <p>Nagenoeg onafhankelijk, weinig aandacht, nagenoeg geen onderhoud.</p> | <p>Ook zorgt het ervoor dat wateroverlast wordt tegengegaan en zijn burgers minder afhankelijk van gemeenten waterschappen voor het aanleggen en onderhouden van een regenriool.</p> <p>Het systeem heeft aandacht nodig. Kratten slibben dicht en heeft onderhoud nodig</p> | <p>Het toepassen van het technische ontwerp zorgt ervoor dat wateroverlast wordt beperkt. Burgers zijn minder afhankelijk van gemeenten waterschappen voor het aanleggen en onderhouden van een regenriool.</p> <p>Het systeem heeft aandacht nodig. Kratten slibben dicht en heeft onderhoud nodig</p> |
| Hergebruikspotentie en Adaptiviteit | Huidige zuiverings- en verwerkingssystemen zijn in beperkte mate | Het URS kan in principe met dezelfde filtermaterialen <i>op een (1) andere locatie worden aangelegd (verplaatsbaar); (2) in een andere ruimte worden</i> | Het beton, het metaal, de kunststof en de leidingen zijn <i>omvormbaar (1)</i> . Het kunststof van de kratten, de folie en de leidingen kan tot | Het URS kan in principe met dezelfde filtermaterialen <i>op een (1) andere locatie worden aangelegd (verplaatsbaar); (2) in een andere ruimte worden</i> | De kratten, de folie en de leidingen zijn <i>omvormbaar (1)</i> . Het kunststof van de kratten, de folie en de leidingen | De kratten, de folie en de leidingen zijn <i>omvormbaar (1)</i> . Het kunststof van de kratten, de folie en de leidingen |

| | | | | | | |
|--|--|---|---|---|--|--|
| <p>In hoeverre zijn onderdelen aanpasbaar, veelzijdig, vervangbaar, omvormbaar, schaalbaar of verplaatsbaar?</p> | <p>ingericht op hergebruik en adaptiviteit.</p> <p>Het beton, het metaal, de kunstof en de leidingen zijn <i>omvormbaar</i> (1). Het kunststof van de kratten, de folie en de leidingen kan tot ruwe grondstof worden omgesmolten of gemalen en op een <i>andere manier gebruikt worden</i>.</p> | <p><i>neergelegd (veelzijdig); (3) in een ander formaat worden opgeleverd (schaalbaar)</i>. Het kunststof van de folie en de leidingen is <i>omvormbaar</i> (4). Het kunststof de folie en de leidingen kan tot ruwe grondstof worden omgesmolten en op een andere manier gebruikt worden.</p> <p>AA Ecoschelpenmix kan lang (100 jaar/meerdere levenscycli) mee en dus in telkens weer in dezelfde toepassing gebruikt worden.</p> <p>TAUW heeft beoordeeld dat AA Minerals na (gedeeltelijk) verlies van zuiverende functie nog voor downcycling kunnen worden ingezet, omdat het dan nog voldoet aan het bouwstoffenbesluit (KWR heeft dit niet beoordeeld). AA Minerals kunnen blijven liggen als waterbergend medium of worden hergebruikt als halfverharding.</p> | <p>ruwe grondstof worden omgesmolten of gemalen en op een <i>andere manier gebruikt worden</i>.</p> | <p><i>neergelegd (veelzijdig); (3) in een ander formaat worden opgeleverd (schaalbaar)</i>. Het kunststof van de folie en de leidingen is <i>omvormbaar</i> (4). Het kunststof de folie en de leidingen kan tot ruwe grondstof worden omgesmolten en op een andere manier gebruikt worden.</p> <p>AA Ecoschelpenmix kan lang (100 jaar/meerdere levenscycli) mee en dus telkens weer in dezelfde toepassing gebruikt worden.</p> <p>TAUW heeft beoordeeld dat AA Minerals na (gedeeltelijk) verlies van zuiverende functie nog voor downcycling kunnen worden ingezet, omdat het dan nog voldoet aan het bouwstoffenbesluit (KWR heeft dit niet beoordeeld). AA Minerals kunnen blijven liggen als waterbergend medium of worden hergebruikt als halfverharding. Hergebruik folie etc is verwaarloosbaar (evenals bij de andere toepassingen)</p> | <p>kan tot ruwe grondstof worden omgesmolten en op een <i>andere manier gebruikt worden</i>.</p> | <p>kan tot ruwe grondstof worden omgesmolten en op een <i>andere manier gebruikt worden</i>.</p> |
|--|--|---|---|---|--|--|

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| <p>Financiële waarde (zie bijlage X voor de totale inzichten in de kosten)</p> | <p>De totale kosten zijn in een situatie zonder maatregelen zijn €64.561</p> <p>Uit de klimaatschadeschatter blijkt dat de gemeente Amersfoort €6.561 aan schade kan verwacht per 1000m² in de komende 50 jaar</p> <p>De kosten voor het gebruik van drinkwater dat gebruikt wordt, maar door de technische ontwerpen zou worden bespaard, zijn €58.000. Het gaat om 800m³ drinkwater per jaar de komende 50 jaar (in totaal 40.000m³ met een drinkwaterprijs van €1,45).</p> | <p>De kosten voor de bouw, de aanleg, vervanging en operatie van het technische ontwerp bedraagt €47.418.</p> <p>De klimaatschade kan beperkt worden en er worden ook drinkwaterkosten uitgespaard. De schatting is dat het toepassen van dit ontwerp €17.143 aan positieve financiële waarde met zich mee brengt.</p> | <p>De kosten voor de bouw, de aanleg, vervanging en operatie van het technische ontwerp bedraagt €97.177.</p> <p>De klimaatschade kan beperkt worden en er worden ook drinkwaterkosten uitgespaard. De schatting is dat het toepassen van dit ontwerp €32.616 aan negatieve financiële waarde met zich mee brengt.</p> | <p>De kosten voor de bouw, de aanleg en operatie van het technische ontwerp bedraagt €47.418.</p> <p>De klimaatschade kan beperkt worden en er worden ook drinkwaterkosten uitgespaard. De schatting is dat het toepassen van dit ontwerp €17.143 aan positieve financiële waarde met zich mee brengt.</p> | <p>De kosten voor de bouw, de aanleg, vervanging en operatie van het technische ontwerp bedraagt €90.205.</p> <p>De klimaatschade kan beperkt worden en er worden ook drinkwaterkosten uitgespaard. De schatting is dat het toepassen van dit ontwerp €25.644 aan negatieve financiële waarde met zich mee brengt.</p> | <p>De kosten voor de bouw, de aanleg, vervanging en operatie van het technische ontwerp bedraagt €90.205.</p> <p>De klimaatschade kan beperkt worden, maar er worden geen drinkwaterkosten uitgespaard. De schatting is dat het toepassen van dit ontwerp €83.644 aan negatieve financiële waarde met zich mee brengt.</p> |
|--|--|--|--|--|--|--|

| | | | | | | |
|--------------------|---|---|--|---|--|---|
| Integraliteit | Er worden geen uitdagingen aangepakt. | Het technische ontwerp draagt bij aan de oplossing voor twee uitdagingen, namelijk klimaatadaptatie (wateroverlast en hittestress) en waterschaarste door hergebruik van (regen)water. | Het technische ontwerp draagt bij aan de oplossing voor twee uitdagingen, namelijk klimaatadaptatie (wateroverlast en hittestress) en waterschaarste door hergebruik van (regen)water. | Het technische ontwerp draagt bij aan de oplossing voor twee uitdagingen, namelijk klimaatadaptatie (wateroverlast en hittestress) en waterschaarste door hergebruik van (regen)water. | Het technische ontwerp draagt bij aan de oplossing voor twee uitdagingen, namelijk klimaatadaptatie (wateroverlast en hittestress) en waterschaarste door hergebruik van (regen)water. | Het technische ontwerp draagt bij aan de oplossing voor één uitdaging, namelijk klimaatadaptatie (wateroverlast en hittestress). |
| Ecologische waarde | <p>Regenwater met zware metalen, minerale oliën, PAKs en deel bacteriologische verontreinigingen komt direct in de natuur en kan het water-/ecoysteem aantasten. Een deel komt ook in het riool terecht.</p> <p>Geen buffering van regenwater en dus ook geen droogtebestrijding.</p> | <p>Door lokale buffering, directe zuivering en infiltratie bij overstort kan verdroging worden beperkt en voorkomen worden dat vervuild water in het water-/ecosysteem terecht komt, omdat zware metalen, minerale oliën, PAKs en deel bacteriologische verontreinigingen worden verwijderd.</p> <p>Door infiltratie in de bodem kunnen uitdagingen, zoals paalrot, verzilting en verdroging voorkomen worden. Dit is afhankelijk van de lokale context en het URS type/ontwerp.</p> <p>Opgeloste schelpkalk kan invloed hebben op de</p> | <p>Door lokale buffering en infiltratie door overstort wordt verdroging beperkt.</p> <p>Bij overstort, infiltratie en gebruik worden de zware metalen, minerale oliën, PAKs en deel bacteriologische <i>geconcentreerde</i> verontreinigingen niet verwijderd. Alleen het water dat wordt hergebruikt wordt gezuiverd. Dit brengt ecologische risico's met zich mee (bodem, grondwater en oppervlaktewater).</p> | <p>Door lokale buffering, directe zuivering en infiltratie bij overstort kan verdroging worden beperkt en voorkomen worden dat vervuild water in het water-/ecosysteem terecht komt, omdat zware metalen, minerale oliën, PAKs en deel bacteriologische verontreinigingen worden verwijderd.</p> <p>Door infiltratie in de bodem kunnen uitdagingen, zoals paalrot, verzilting en verdroging voorkomen worden. Dit is afhankelijk van de lokale context en het URS type/ontwerp.</p> <p>Opgeloste schelpkalk kan invloed hebben op de</p> | <p>Door lokale buffering en infiltratie door overstort wordt verdroging beperkt.</p> <p>Bij overstort, infiltratie en gebruik worden de zware metalen, minerale oliën, PAKs en deel bacteriologische <i>geconcentreerde</i> verontreinigingen niet verwijderd. Dit brengt ecologische risico's met zich mee (bodem, grondwater en oppervlaktewater).</p> <p>Risico's ten aanzien van microplastics (door het gebruik van kratten) zijn geen onderdeel geweest van deze studie.</p> | <p>Door lokale buffering en infiltratie wordt verdroging beperkt.</p> <p>Bij infiltratie worden de zware metalen, minerale oliën, PAKs en deel bacteriologische <i>geconcentreerde</i> verontreinigingen niet verwijderd. Dit brengt ecologische risico's met zich mee (bodem, grondwater en oppervlaktewater).</p> <p>Risico's ten aanzien van microplastics (door het gebruik van kratten) zijn geen onderdeel geweest van deze studie.</p> |

| | | | | | | |
|--------------------|---|---|---|---|---|-----------------------------------|
| | | ecologie. Dit hangt ook af van de lokale context. | | ecologie. Dit hangt ook af van de lokale context. | | |
| Waarde voor Mensen | | | | | | |
| Volksgezondheid | Er wordt gebruik gemaakt van water van drinkwaterkwaliteit. | Indien het water wordt hergebruikt als speel- of brouwwater nemen de risico's voor de volksgezondheid toe, omdat mensen er direct mee in aanraking komen. De Urban Rain Shell produceert biologisch <i>veiliger</i> water, maar er is geen garantie dat 'zwemwaterkwaliteit' bereikt wordt. Dit wordt bepaald door het influent (denk aan ganzenuitwerpselen). Daarmee is er geen garantie dat er geen besmettingsrisico's zijn t.a.v. bijv. Ecolie en legionella (bij verneveling). Voor speelwater is geen eis, maar het is aangeraden om bij het speeltoestel maatregelen te nemen om drinken onmogelijk te maken en risico's te beperken. | Vanwege de desinfecterende werking wordt het water veiliger te gebruiken dan bv. speel- of brouwwater in de omgeving van mensen. De UV-reactor produceert biologisch veilig water. Er is minimaal besmettingsrisico en 'zwemwaterkwaliteit' wordt bereikt. | Indien het water wordt hergebruikt als blus- of sproeiwater nemen de risico's voor de volksgezondheid toe, omdat mensen verneveling kunnen inademen (aerosolen). De Urban Rain Shell produceert biologisch <i>veiliger</i> water dat mogelijk 'sproeiwaterkwaliteit' bereikt, maar er is geen garantie dat er geen besmettingsrisico's zijn op bijv. legionella. | Indien het water wordt hergebruikt als blus- of sproeiwater nemen de risico's voor de volksgezondheid toe, omdat mensen verneveling kunnen inademen (aerosolen). Er zijn besmettingsrisico's op bijv. legionella omdat het (sproei)water van 'regenwaterkwaliteit' is. | Dit water wordt niet hergebruikt. |

| | | | | | | |
|---------------|---|--|---|--|---|---|
| | | Met een additionele zuivering is toepassing voor brouwwater ook mogelijk. | | | | |
| Veiligheid | Zonder buffering is er meer kans op wateroverlast en dat brengt risico's met zich mee voor de veiligheid. | Door buffering is er minder kans op wateroverlast – en daarmee minder kans op overstromingen, mits er grote hoeveelheden water kunnen worden opgevangen. Dat brengt minder risico's mee voor de veiligheid. | Door buffering is er minder kans op wateroverlast – en daarmee minder kans op overstromingen, mits er grote hoeveelheden water kunnen worden opgevangen. Dat brengt minder risico's mee voor de veiligheid. | Door buffering is er minder kans op wateroverlast – en daarmee minder kans op overstromingen, mits er grote hoeveelheden water kunnen worden opgevangen. Dat brengt minder risico's mee voor de veiligheid. | Door buffering is er minder kans op wateroverlast – en daarmee minder kans op overstromingen, mits er grote hoeveelheden water kunnen worden opgevangen. Dat brengt minder risico's mee voor de veiligheid. | Door buffering is er minder kans op wateroverlast – en daarmee minder kans op overstromingen, mits er grote hoeveelheden water kunnen worden opgevangen. Dat brengt minder risico's mee voor de veiligheid. |
| Inclusiviteit | Er is geen toepassing, dus mensen worden ook niet betrokken bij water-gerelateerde problematiek. | Het gebufferde water wordt gebruikt voor speel- of brouwwater en staat in de publieke ruimte waardoor er direct contact ontstaat tussen groepen mensen en het technische ontwerp. Er is sprake van communicatie over de toepassing en mensen worden betrokken en bewust van de waterketen en het hergebruik van water. Bij een toepassing voor speelwater zijn de natuurlijke materialen zichtbaar als speelelement. Hierdoor is er sprake van duurzaamheidswaarde zien en ook educatiewaarde, omdat | Het gebufferde water wordt gebruikt voor speel- of brouwwater waardoor er direct contact ontstaat tussen groepen mensen en het technische ontwerp. Er is sprake van communicatie over de toepassing en mensen worden betrokken en bewust van de waterketen en het hergebruik van water. | Het gebufferde water wordt gebruikt voor sproei- of bluswater , maar staat in de publieke ruimte waardoor er direct contact ontstaat tussen groepen mensen en het technische ontwerp. In de meeste gevallen wordt er <i>wel</i> gecommuniceerd over het ontwerp en de toepassing. Er is sprake van communicatie over de toepassing en mensen worden betrokken en bewust van de waterketen en het hergebruik van water. Meerdere groepen zijn bewust van het bufferen van regenwater. | Het gebufferde water wordt functioneel gebruikt als sproeiwater . Er wordt in de meeste gevallen <i>niet</i> gecommuniceerd over de toepassing, waardoor mensen niet betrokken worden. Een selecte groep mensen is bewust van het bufferen van regenwater. | Er wordt in de meeste gevallen <i>niet</i> gecommuniceerd over de toepassing, waardoor mensen niet betrokken worden. Een selecte groep mensen is bewust van het bufferen van regenwater. |

| | | | | | | |
|-------------------------------|--|---|--|---|---|---|
| | | de werking van het zuiveringssysteem zichtbaar is. | | | | |
| Comfort | Bij geen toepassing van technische ontwerpen is de kans op wateroverlast groter. | Voor omwonenden wordt de wateroverlast verkleind (ontzorging). De buffering levert speelplezier. Er is door zuivering met schelpen geen beheer nodig en dus geen sprake van stankoverlast. Voor gebruikers en beheer is er verhoogd gebruiksgemak, omdat er geen professionele kennis nodig is voor het gebruik van het ontwerp. | Voor omwonenden wordt de wateroverlast verkleind (ontzorging). De buffering levert speelplezier. Door de mogelijkheden voor beheer is er geen stankoverlast. Er is ook langer graafoverlast door de lange bouwtijd van een gestorte betonnen kelder. Voor gebruikers en beheer is er verlaagd gebruiksgemak, omdat gekwalificeerd beheer moet plaatsvinden. | Voor omwonenden wordt de wateroverlast verkleind (ontzorging). De buffering levert water voor het besproeien van tuinen. Er is door zuivering met schelpen geen beheer nodig en dus geen sprake van stankoverlast. Voor gebruikers en beheer is er verhoogd gebruiksgemak, omdat er geen professionele kennis nodig is voor het gebruik van het ontwerp. | Voor omwonenden wordt de wateroverlast verkleind (ontzorging). De buffering levert water voor het besproeien van tuinen. Door de beperkte mogelijkheden voor beheer (geen toegang tot de kratten) is er bij opslag ook meer kans op stankoverlast. Voor gebruikers en beheer is er verlaagd gebruiksgemak, omdat er geen toegang is tot de kratten. Dit maakt schoonmaken lastig. | Voor omwonenden wordt de wateroverlast verkleind (ontzorging). Door de beperkte mogelijkheden voor beheer (geen toegang tot de kratten) is er bij opslag ook meer kans op stankoverlast. Voor gebruikers en beheer is er verlaagd gebruiksgemak, omdat er geen toegang is tot de kratten. Dit maakt schoonmaken lastig. |
| Kwaliteit van de leefomgeving | Er is geen ruimtelijke inpassing. De ruimtelijke kwaliteit blijft gelijk. Er treed geen conflict in de ondergrond op. | Indien de URS in de publieke ruimte wordt geïnstalleerd en de schelpen zichtbaar zijn zal dit de aantrekkelijkheid van de leefomgeving vergroten. In het geval van speelwater zal dit de situatie zijn. De uitvoering van de URS is flexibel in omgeving, maar bij 50m3 buffering van water is | Bij het installeren van de buffertank is de zuivering bovengronds en heeft dit impact op de leefomgeving. Het wordt er minder aantrekkelijk door. De buffertank is minder flexibel en kan dus conflict in de ondergrond veroorzaken i.r.t. kabels en leidingen. | Indien de URS in de publieke ruimte wordt geïnstalleerd en de schelpen zichtbaar zijn zal dit de aantrekkelijkheid van de leefomgeving vergroten. In het geval van sproei- of bluswater zal de installatie in private ruimte worden geïnstalleerd en voornamelijk functioneel gebruikt worden. De buffer is ondergronds en | Door het installeren van de kratten blijft de aantrekkelijkheid van de leefomgeving gelijk. De kratten hebben een beperking in flexibiliteit aanleg en kan dus conflict in de ondergrond veroorzaken i.r.t. kabels en leidingen. | Door het installeren van de kratten blijft de aantrekkelijkheid van de leefomgeving gelijk. De kratten hebben een beperking in flexibiliteit aanleg en kan dus conflict in de ondergrond veroorzaken i.r.t. kabels en leidingen. |

| | | | | | | |
|---|--|---|--|--|---|--|
| | | de URS wel (2x) groter in omvang i.v.m. de ruimte die schelpen innemen. Er hoeft niet noodzakelijk conflict te ontstaan in de bodem, omdat er om kabels en leidingen heen gelegd kan worden. De ondergrond blijft door de schelpen ook stevig (veiligheid). | | niet/minder zichtbaar in de omgeving, waardoor de aantrekkelijkheid van de leefomgeving gelijk blijft. De uitvoering van de URS is flexibel in omgeving, maar bij 50m3 buffering van water is de URS wel (2x) groter in omvang i.v.m. de ruimte die schelpen innemen. Er hoeft niet noodzakelijk conflict te ontstaan in de bodem, omdat er om kabels en leidingen heen gelegd kan worden. De ondergrond blijft door de schelpen ook stevig (veiligheid). | Daarbij moeten kratten ook dieper in de ondergrond worden aangelegd, omdat ze een gronddekking nodig hebben om aslast van een (vracht)auto te kunnen dragen. | Daarbij moeten kratten ook dieper in de ondergrond worden aangelegd, omdat ze een gronddekking nodig hebben om aslast van een (vracht)auto te kunnen dragen. |
| Risico's, kansen en bedreigingen | | | | | | |
| Risico's & bedreigingen | | EWB wil niet bekend maken wat de samenstelling is van AA minerals. Om deze reden is door KWR niet onderzocht wat de invloed van AA minerals kan zijn. Dit kan risico's met zich meebrengen. AA minerals voldoet wel aan het bouwbesluit. De leverancier geeft ook een verklaring dat het product bestaat uit natuurlijke, niet belastende materialen. | Het is een robuuste techniek. Onderhoud van de UV lamp is af en toe nodig. De (betonnen) prefab kelders brengt risico's met zich mee voor de aanleg. Kranen, vrachtwagen en materiaal is van groot gewicht. Bodem moet dit aankunnen. | EWB wil niet bekend maken wat de samenstelling is van AA minerals. Om deze reden is door KWR niet onderzocht wat de invloed van AA minerals kan zijn. Dit kan risico's met zich meebrengen. AA minerals voldoet wel aan het bouwbesluit. De leverancier geeft ook een verklaring dat het product bestaat uit natuurlijke, niet belastende materialen. | Risico dat kratten anders worden ingezet dan alleen bergen en infiltreren van regenwater, maar voor hergebruik. Dit zorgt voor zeer grote risico's t.a.v. zowel zware metalen e.d., maar vooral m.b.t. microbiologische vervuiling en legionella. Dat is namelijk zeker NIET gezuiverd. | Risico dat kratten anders worden ingezet dan alleen bergen en infiltreren van regenwater. |

| | | | | | | |
|--|--|---|--|---|--|--|
| | | <p>Kleine kans op legionella bij hogere temperaturen.</p> <p>In het geval de verblijftijd van het water te kort is kan de waterkwaliteit afnemen.</p> <p>In combinatie met DSI gelden bovenstaande zaken niet, aangezien de verblijftijd in de ondergrond voor extra desinfectie zorgt, waardoor bovenstaande risico's kunnen worden gemitigeerd (net zoals dat werkt in de Urban Waterbuffer...)</p> | | <p>Kleine kans op legionella bij hogere temperaturen.</p> <p>In het geval de verblijftijd van het water te kort is kan de waterkwaliteit afnemen.</p> <p>In combinatie met DSI gelden bovenstaande zaken niet, aangezien de verblijftijd in de ondergrond voor extra desinfectie zorgt, waardoor bovenstaande risico's kunnen worden gemitigeerd (net zoals dat werkt in de Urban Waterbuffer...)</p> | | |
|--|--|---|--|---|--|--|

X Kostenberekening (financiële waarde Donut Model)

Voor het berekenen van de kosten is uitgegaan van

- de kosten van de productie, bouw, vervanging en operatie van de *technische ontwerpen*. Het gaat hier om investeringskosten en operationele kosten voor een systeem dat 50m³ kan bufferen (zie Tabel , gevolgd door de onderbouwing van de kosten).
- de kosten van het gebruik van het *drinkwater* ([Vewin, 2022](#)) dat gebruikt wordt in het geval het regenwater *niet* wordt hergebruikt (nul-situatie). Het gaat daarbij om 800m³ per jaar in het geval van een systeem van 50m³. Dat is dus drinkwater wat bespaard wordt én de kostenbesparing die daarmee gepaard gaat voor 50 jaar. Er is uitgegaan van een drinkwaterprijs van €1,45/m³ (gemiddelde drinkwaterprijs Nederland). De totale kostenbesparing is daarmee €58.000.
- de geschatte kosten voor de schade van de *wateroverlast* die mogelijk voorkomen of beperkt kunnen worden zijn. Dit is berekend middels de gegeven van de [Klimaschadeschatter](#). Daarin is berekend hoeveel schade er *per inwoner* kan ontstaan in een 'extreem' klimaatscenario (WH-scenario). Voor de technische systemen wordt voor 1000m² afgekoppeld. Er is voor deze berekening uitgegaan van 2,54 inwoner per 1000m² (aantal vierkante m² Amersfoort zonder water (62490000m²) / aantal inwoner (158590)). Het bedrag op klimaschatter is berekend voor de komende 50 jaar en het gemiddelde bedrag is genomen (€1550 schade per inwoner). Dit komt neer op €2.583,33 (1550 / 30 x 50) per inwoner. De totale komt de schade die voorkomen wordt neer op €6.561,67 (€2.583,33 x 2,54 inwoner).

XI Inschatting watergebruik in Goes

Overzicht van Christiaan Stouten (Traas en Ovaa Infra B.V./ Traas en Ovaa Sport B.V.)

| Uitgangspunten | waarde |
|---|--------|
| Aantal leden | 350 |
| m3 Drinkwatergebruik per lid per week (gem. 2 dagen per week) | 0,0625 |
| Aantal actieve weken per jaar | 35 |
| afgekoppeld oppervlak op URS m2 | 4500 |
| % naar URS | 70% |
| Gem. regenval per jaar per m2 (m3) | 0,80 |
| Gebruik per maand van april tm november | 163 |

| Overzicht watergebruik Goes | m3 drinkwater totaal | m3 beregeningswater totaal |
|--|----------------------|----------------------------|
| meterstand 26-1-2023 | 14353 | 9294 |
| meterstand 21-4-2022 | 13265 | 8153 |
| werkelijk gebruik 9 maanden | 1088 | 1141 |
| Ingeschat gebruik 1 jaar (evt updaten naar werkelijk) | 1351 | 1304 |

| Waterbalans Goes URS per jaar | hoeveelheid (m3) | hoeveelheidm (m3) |
|--|------------------|-------------------|
| Drinkwatergebruik clubhuis (drinken, douchen, schoonmaken) | 766 | |
| Drinkwater suppletie beregening hockeyveld | 585 | |
| m3 Regenwater totaal gezuiverd | | 2520 |
| m3 Regenwater gebruik voor beregening hockeyveld | | 719 |
| m3 Regenwater na zuivering op oppervlaktewater (overstort URS) | | 1801 |

| URS totaal verwerkt 2015-2023 (7,5 jaar) | Waarde | Eenheid |
|--|--------|---------|
|--|--------|---------|

| | |
|--------------------------------|----------|
| m3 Regenwater totaal gezuiverd | 2520 m3 |
| Jaren in gebruik | 7,5 jaar |
| Totaal m3 door URS verwerkt | 18900 m3 |

Tabel 45: Investeringskosten en operationele kosten voor een systeem dat 50m3 kan bufferen

| | Kosten | URS 50 m3 | Kratten 50 m3 | Kelder, snelfilter en UV 50 m3 |
|----------------|--|-----------------|------------------|--------------------------------------|
| Uitgangspunten | Te zuiveren volume [m3/50 jaar] | 40000 | 40000 | 40000 |
| | Jaren functioneren | 50 | 50 | 50 |
| Investeringsen | Materialen | € 37.110 | € 19.658 | € 19.725 |
| | Aanleg, installatie en inbedrijfstelling | € 7.808 | € 13.901 | € 23.860 |
| | Subtotaal investeringen | € 44.918 | € 33.559 | € 43.585 |
| Exploitatie | Vervangingsmaterialen: kratten, zuiveringsonderdelen | € - | € 19.658 | € 606,80 |
| | Vervanging, installatie en inbedrijfstelling | € - | € 12.019 | € 1.500,00 |
| | Vervangingsmaterialen: zand, UV lampen | € - | € - | € 549,09 |
| | Energie (snelfilter en UV) | € - | € - | € 867,24 |
| | Onderhoud (spoelen, vervangen zand/lampen) | € 2.500 | € 25.000 | € 50.000,00 |
| | Subtotaal exploitatie | € 2.500 | € 56.677 | € 53.523 |
| | Totale kosten over 50 jaar (Total cost of Ownership) | € 47.418 | € 90.236 | € 97.108 |
| | Totaal per m3 (gezuiverd) water (of ongezuiverd in geval kratten) [€/m3] | € 1,19 | € 2,26 | € 2,43 |

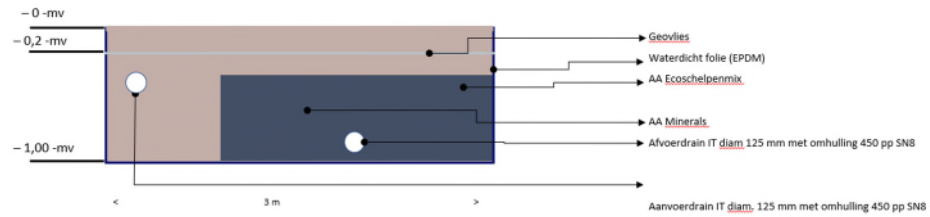
Met afspraken/aannames

- Rente en inflatie zijn 0%
- Geen verwarming straatkast met zuivering (aftappen in winter)
- Loonkosten onderhoud € 62,5/uur (gebruikt bij onderhoud snelfilter)
- Alleen energie specifiek voor variant wordt meegenomen, energie voor hergerbuik water is bij alle varianten gelijk = 0 gesteld
- Zuiveringsonderdelen zwembad kwaliteit
- WAVIN AquaCell infiltratiekratten 2 hoog gestapeld
- Kratten met 30 cm gronddek voor onder groenzones
- prijzen excl BTW

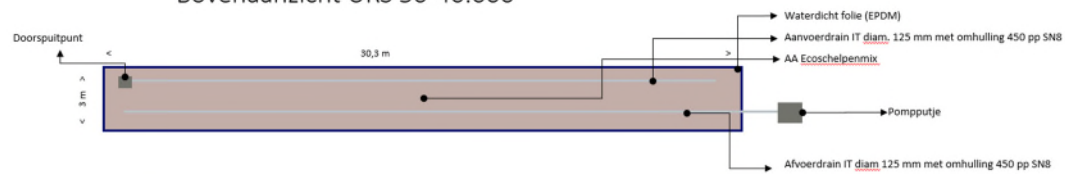
| kostenopbouw URS | 50 m3 berging | | |
|--|-------------------------|-----------------|---------|
| | | | |
| URS kosten 50 jaar | 50 m3 buffer | | |
| | Hoeveelheid | Eenheid | |
| Investeringskosten (franco Amersfoort) | 91 | m3 | |
| URS Mengsel (AA Ecoschelpenmix en AA Minerals) | 1 | st | |
| AA Schelpkalk Vitaliser 1" | 1 | m2 | |
| Waterdicht folie, 33x6 incl. 2 doorvoeren diam 125mm | 198 | m1 | |
| Drains diam 125 mm, incl. hulpstukken | 61 | m2 | |
| Geotextiel | 124 | st | |
| Doorspuitpunt | 1 | st | |
| Pompput | 1 | st | |
| Subtotaal materiaalkosten | € 37.110 | | |
| Aanlegkosten | | | |
| Aanleg machines (kraantje, shovel) | 3 | dagen | |
| Aanleg 2 man | 6 | dagen | |
| Uitvoerder 1 dag | 1 | dagen | |
| AKWR aannemer (12% AK + 10% WR) | 22% | % | |
| Subtotaal aanlegkosten | € 7.808 | | |
| Operationele kosten (50 jaar) | | | |
| Inspecteren en reinigen aanvoerverdeeldrain (1x per 5 jaar) | 250 | EUR | 10 maal |
| Energie | 0 | EUR | |
| Vervangingskosten | 0 | EUR | |
| Subtotaal operationele kosten | € 2.500 | | |
| Total cost of ownership | € 47.418 | EUR | |
| Totaal m3 zuiveren | 40000 | m3 | |
| URS kosten 50 jaar | € 1,19 | EUR / m3 | |
| * levensduur zuivering 50 jaar, levensduur berging 100 jaar (AA Ecoschelpenmix opnieuw in dezelfde toepassing op zelfde locatie te gebruiken ** Prijsniveau december 2022 *** Grond te verwerken ter plaatse | | | |

URS 50-40.000

Dwarsprofiel URS 50-40.000



Bovenaanzicht URS 50-40.000

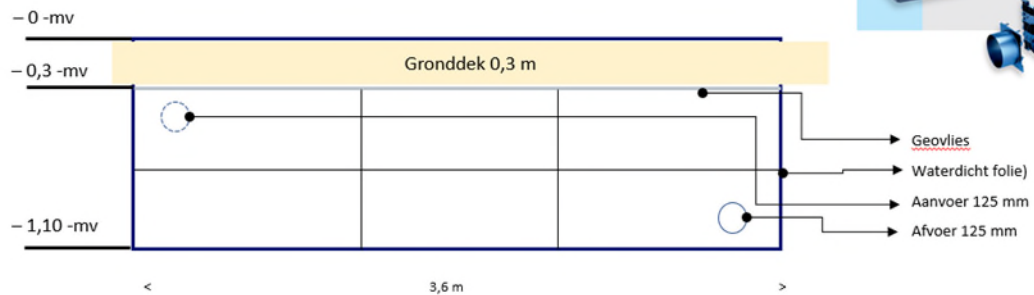


| kostenopbouw kratten | | 50 m3 berging | | | | | | | |
|---|-----------------|----------------------|-----------------|----------------|---|--|--|--|--|
| Materialen | | | | | | | | | |
| | aantal | per stuk | kosten | | | | | | |
| Aantal kratten | 144 | € 89,95 | € 12.953 | 25 jaar | incl. bodemplaten, zijplaten, schachten en aansluitingen | | | | |
| Oppervlak folie (bodem en wanden) m2 | 162 | € 36,50 | € 5.913 | 25 jaar | EPDM membraan 1 mm verlijmd | | | | |
| Oppervlak worteldoek (bovenzijde) m2 | 367 | € 1,75 | € 642 | 25 jaar | | | | | |
| Aanluiting afvoer 125 mm | 1 | | | | | | | | |
| Inspectiekanaal 370 mm | 1 | | € 150,00 | 25 jaar | | | | | |
| Investeringskosten totaal | | | € 19.658 | 25 jaar | | | | | |
| Vervanging na 25 jaar | | | | | | | | | |
| Aantal kratten | 144 | € 89,95 | € 12.953 | 25 jaar | | | | | |
| Oppervlak folie (bodem en wanden) m2 | 162 | € 36,50 | € 5.913 | 25 jaar | | | | | |
| Oppervlak worteldoek (bovenzijde) m2 | 367 | € 1,75 | € 642 | 25 jaar | | | | | |
| Aanluiting afvoer 125 mm | 1 | | | | | | | | |
| Inspectiekanaal 370 mm | 1 | | € 150 | 25 jaar | | | | | |
| Vervangingskosten totaal | | | € 19.658 | 25 jaar | | | | | |
| Loonkosten onderhoud | per jaar | € 500,00 | € 25.000 | 50 jaar | 16 uur/jaar (2 maal 2 uur inspectie en 4 uur schoonmaken) | | | | |
| Plaatsen Wavin Q-bic Plus 50 m3 | | | | | | | | | |
| Ontgraven grond m3 | 97,2 | € 50 | € 4.860 | | | | | | |
| Totaal installatie dagen | 4 | € 1.500 | € 6.000 | | | | | | |
| Onvoorzien | 10% | | € 1.086 | | | | | | |
| AK W&R | 18% | | € 1.955 | | | | | | |
| Totaal excl. BTW | | | € 13.901 | | | | | | |
| Vervangen Wavin Q-bic Plus 50 m3 | | | | | | | | | |
| Stortkosten ton | 2 | € 195 | € 390 | | | | | | |
| Totaal installatie dagen | 6 | € 1.500 | € 9.000 | | | | | | |
| Onvoorzien | 10% | | € 939 | | | | | | |
| AK W&R | 18% | | € 1.690 | | | | | | |
| Totaal excl. BTW | | | € 12.019 | | | | | | |

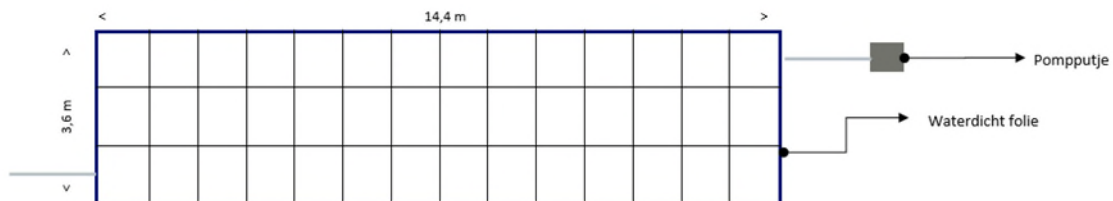
| | |
|--------------------------|--------|
| minimale gronddekking | |
| groenzones | 30 cm |
| lichte verkeersbelasting | 50 cm |
| zware verkeersbelasting | 75 cm |
| maximaal | 300 cm |

Kratten 50-40.000

Dwarsprofiel Kratten 50-40.000



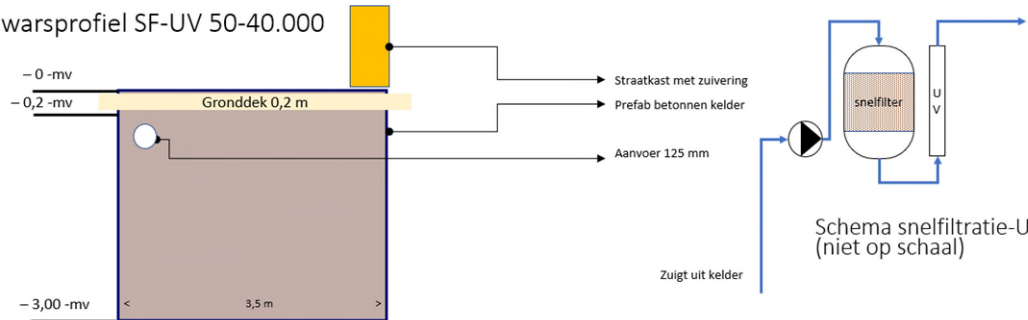
Bovenaanzicht Kratten 50-40.000



| kostenopbouw snelfilter | | 50 m3 berging | | | | | | | | |
|--|--------|---------------------|---------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Materialen | | 50 m3 buffer | Vervangingsinterval jaar | | | | | | | |
| Prefab betonnen kelder | | € 17.695 | 50 | | | | | | | |
| Transport | | € 495 | 50 | | | | | | | |
| Straatkast voor zuivering | | € 860 | 50 | | | | | | | |
| Opvoerpomp | | € 174 | 25 | | | | | | | |
| Drukschakelaar | | € 25 | 25 | | | | | | | |
| Zandfilter | | € 222 | 25 | | | | | | | |
| Zand | | € 19 | 5 | Zand wordt 4 maal per jaar gespoeld = onderhoud en na 5 jaar vervangen | | | | | | |
| UV desinfectie unit | | € 186 | 25 | | | | | | | |
| UV lamp | | € 50 | 5 | 80 uur/jaar = 10 jaar, incl verbuiling gesteld op eens per 5 jaar | | | | | | |
| Investeringskosten totaal | | € 19.725 | | | | | | | | |
| Energieverbruik | | | | | | | | | | |
| Pomp | | 750 Watt | | | | | | | | |
| Pomp tbv snelfilter | | 75 Watt | | slechts 10% van energie is voor overwinnen drukval snelfilter, rest is voor toepa: | | | | | | |
| UV unit | | 24 Watt | | | | | | | | |
| Totaal energie | | 99 Watt | | | | | | | | |
| 10% jaar in bedrijf | | 87 kWh/jaar | | | | | | | | |
| kosten per kWh | € 0,20 | | | | | | | | | |
| kosten energie | | 17 €/jaar | | | | | | | | |
| Subtotaal energie | | € 867 | 50 jaar | | | | | | | |
| Vervangingsmaterialen | | | | | | | | | | |
| Opvoerpomp | | € 174 | 25 | | | | | | | |
| Drukschakelaar | | € 25 | 25 | | | | | | | |
| Zandfilter | | € 222 | 25 | | | | | | | |
| UV desinfectie unit | | € 186 | 25 | | | | | | | |
| Subtotaal vervangingsmaterialen | | € 607 | 50 jaar | Installatie | | | | | | |
| Zand | | € 19 | 5 | | | | | | | |
| UV lamp | | € 50 | 5 | | | | | | | |
| Subtotaal vervangingsmaterialen | | € 549 | 50 jaar | Zand en UV lampen | | | | | | |
| Loonkosten onderhoud | | € 1.000,00 | €/jaar | 6 uur/jaar (4 maal 3 uur inspectie en 4 uur schoonmaken) | | | | | | |
| Subtotaal loonkosten | | € 50.000 | 50 jaar | | | | | | | |
| Excl | | | | | | | | | | |
| Plaatsen prefab 50 m3 kelder | | | | | | | | | | |
| Ontgraven grond m3 | 105 | 50 € | 5.250,00 | | | | | | | |
| Plaatsen kelder met telekraan uur | 8 | 460 € | 3.680,00 | | | | | | | |
| Bronnering | | € | 2.500,00 | | | | | | | |
| Afwerken en aanluiten dagen | 3 | 1500 € | 4.500,00 | | | | | | | |
| Maatvoering dagen | 3 | 980 € | 2.940,00 | | | | | | | |
| Onvoorzien | 10% | € | 1.593,00 | | | | | | | |
| AK W&R | 18% | € | 3.396,60 | | | | | | | |
| Totaal excl. BTW | | € | 23.859,60 | | | | | | | |
| Vervangen en aanluiten dagen | 1 | 1500 € | 1.500,00 | | | | | | | |

Snelfiltratie-UV 50-40.000

Dwarsprofiel SF-UV 50-40.000



Bovenaanzicht SF-UV 50-40.000

