

KWR 2023.104

Een horizontaal doorstroomd helofytenfilter voor douchewaterzuivering op daken

Datum

December 2023

Opdrachtgever

TKI- watertechnologie

Meer informatie

Dr. ir. Gijsbert Cirkel

T 06-20614497

E Gijsbert.cirkel@kwrwater.nl

Auteurs

Dr. ir. Gijsbert Cirkel (KWR); ir. Joris Voeten (WEnR); Frank van Dien (ECOFYT)

Opdrachtnummer

402914

Kwaliteitsborgers

Ir. Frank Oesterholt
Prof. Dr. ir. Emile Cornellissen

Projectmanager

Ir. Frank Oesterholt

Pagina

1/19

Samenvatting

In vergelijking met conventionele sedum-daken blijken blauw-groene daken een aanzienlijk betere bijdrage te leveren aan het bergen en vertraagd afvoeren van hemelwater, koelen van de lucht en biodiversiteit. Hoewel in gematigde gebieden in de regel voldoende water beschikbaar is, nemen langdurige droogte periodes ook daar toe. Daardoor kan de hoeveelheid geborgen hemelwater onvoldoende blijken, juist wanneer de koelende eigenschappen gewenst zijn. Als alternatief wordt in veel gevallen de drinkwaterkraan geopend om aan te vullen en de vegetatie te laten overleven. De beschikbaarheid van drinkwater staat echter ook onder druk en toenemend drinkwaterverbruik is ongewenst, juist in periodes van hitte en droogte. Binnen TKI-project Urban Photosynthesis onderzoeken we het koelende effect van een optimaal verdampende vegetatie op PV-panelen en de mogelijk hogere opbrengst die dit bewerkstelt (Van der Roest et al., 2023). Een altijd optimale watervoorziening is dan cruciaal. Om deze reden en bovenstaande overwegingen is besloten om douchewater te hergebruiken voor irrigatie van de dakvegetaties bij het project Mannoury te Amsterdam. Hoewel relatief schoon, bevat douchewater stoffen die gezuiverd moeten worden, temeer omdat het systeem uiteindelijk kan overstorten op het hemelwaterriool. Om deze reden is onderzocht of het mogelijk is om de zuivering van het douchewater te integreren in het blauwgroene dak. Uiteraard moet het systeem wel minimaal vergelijkbaar zijn met regelmatig toegepaste bestaande zuiveringssystemen zoals een MembraanBioReactor (MBR). Bijkomende uitdaging is gewicht, een systeem op een dak mag niet te zwaar zijn.

De twee identieke gebouwen van Mannoury boden een unieke kans om het nieuwe systeem (horizontaal doorstroomd helofytenfilter, gebouw 3) te vergelijken met een al eerder toegepast systeem (MembraanBioReactor (MBR) met microfiltratiemembraan, gebouw 4). Deze rapportage doet verslag van de samenstelling van het douchewater, de verwijdering van stoffen door beide zuiveringssystemen en de kwaliteit bij uiteindelijke uitstroom op maaiveldniveau.

Uit de studie blijkt dat integratie van een 'nature based' zuiveringssysteem (horizontaal doorstroomd helofytenfilter) in groen-blauwe daken haalbaar is qua omvang en gewichtsbelasting. Het horizontaal doorstroomde helofytenfilter is technisch eenvoudiger in vergelijking met de MBR en bleek hierdoor niet gevoelig voor storingen. Het MBR systeem is complexer qua installatietechniek en daarmee gevoeliger voor fouten bij de installatie (aansluitingsfouten) en storingen door bijvoorbeeld stroomuitval.

Het effluent van het horizontaal doorstroomde helofytenfilter voldoet met uitzondering van ammonium aan de lozingsgrenswaarde voor IBA IIIb systemen. Met de MBR wordt ammonium wel ruim voldoende omgezet. In vergelijking met de MBR is daarnaast de verwijdering van bacteriën van de coligroep in het helofytenfilter lager (2 log t.o.v. 4 log voor de MBR). De verwijdering van fosfor en zink is juist hoger in het horizontaal doorstroomde helofytenfilter. Het effluent van beide systemen voldoet aan de EU minimum vereisten voor irrigatiewater bij gebruik voor niet-voedselgewassen en irrigatie zonder sproeien (klasse D).

Tijdens de cascadering langs groen-blauwe daken en balkons vindt aanvullende omzetting door bacteriën, opname door planten en verdunning met regenwater plaats waardoor bij de uitstroom van zowel gebouw 3 als 4 ruim wordt voldaan aan de IBA IIIb lozingsgrenswaarden. Wel blijkt er uitspoeling uit de substraatlaag van de beplantingen op te treden waardoor de CZV weer wat stijgt en de concentratie fosfor minder ver daalt of zelfs stijgt ten opzichte van de effluentconcentratie.

Gezien de toepassing van een microfiltratiemembraan in de MBR kunnen in het effluent van beide systemen humaan pathogene virussen aanwezig zijn, daarnaast is gezien de temperatuur van het douchewater (gemiddeld 21.5 °C) groei van opportunistische pathogenen niet uit te sluiten. Zonder aanvullende desinfectie is het effluent van beide systemen ongeschikt om te versproeien of te vernevelen. Dat is dan ook niet de opzet van deze opstelling, de irrigatie van onderaf via de capillaire cones en substraatlaag of via druppelirrigatie is wel mogelijk doordat er dan geen directe blootstelling is voor de bewoners.

Het douchewater en het effluent is voornamelijk onderzocht over een beperkte periode van ruim een jaar. Het is aan te bevelen om het helofytenfilter te blijven volgen in de komende jaren. Door budgetbeperkingen is het aantal onderzochte parameters beperkt, in een vervolg kan hierop mogelijk worden uitgebreid. Daarnaast is in deze studie de bron van de verhoogde ammoniumconcentraties niet nader onderzocht en is de hypothese dat dit afkomstig is van bewoners die urineren onder de douche. Gezien de mogelijke bijdrage van medicijnresten via urine is nader onderzoek hiernaar gewenst. Tenslotte is het bij verdere toepassing van het horizontaal doorstroomde helofytenfilter aan te bevelen om een beluchting toe te voegen aan de verzameltank voor douchewater om zo de omzetting van ammonium te versnellen voordat het douchewater wordt verpompt naar het helofytenfilter.

Project Urban Photosynthesis is co-financed with PPS funding from the Topconsortia for Knowledge & Innovation (TKI's) of the Ministry of Economic Affairs and Climate, the Netherlands.

Jaar van publicatie
2023

Meer informatie
Gijsbert Cirkel
T (030)6069734
E gijsbert.cirkel@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

KWR 2023.104 – november 2023 ©KWR

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, 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.

Inhoud

Samenvatting	1
1 Aanleiding & achtergrond	4
1.1 Grijswater voor groen	4
1.2 Zuivering van douchewater als onderdeel van het blauwgroene dak	4
2 Systeembeschrijving	5
2.1 Horizontaal doorstroomd helofytenfilter	5
2.2 Conventionele membraanbioreactor	6
3 Meetresultaten & discussie	7
3.1 Douchewaterkwaliteit	7
3.2 Effectiviteit horizontaal doorstroomd helofytenfilter	8
3.3 Vergelijking met het conventionele MBR systeem	10
3.4 Uitstroom naar het hemelwaterriool	11
3.4.1 Kwaliteit uitstroom gebouw 3	11
3.4.2 Kwaliteit uitstroom gebouw 4	11
4 Conclusies & aanbevelingen	13
4.1 Conclusies	13
4.2 Aanbevelingen	13
5 Referenties	15
I Gemiddelde samenstelling douchewater, effluent helofytenfilter en uitstroom naar HWA gebouw 3	16
II Gemiddelde samenstelling MBR effluent en uitstroom naar HWA gebouw 4	17
III Ontwerptekening Horizontaal doorstroomd helofytenfilter	18

1 Aanleiding & achtergrond

1.1 Grijswater voor groen

In vergelijking met conventionele sedum-daken blijken blauw-groene daken een aanzienlijk betere bijdrage te leveren aan het bergen en vertraagd afvoeren van hemelwater, koelen van de lucht en biodiversiteit (Cirkel et al., 2018; Busker et al., 2022). Hoewel in gematigde gebieden in de regel voldoende water beschikbaar is, nemen langdurige droogteperiodes ook daar toe. Daardoor kan de hoeveelheid geborgen hemelwater onvoldoende blijken, juist wanneer de koelende eigenschappen gewenst zijn. Als alternatief wordt in veel gevallen de drinkwaterkraan geopend om aan te vullen en de vegetatie te laten overleven. De beschikbaarheid van drinkwater staat echter ook onder druk en toenemend drinkwaterverbruik is ongewenst, juist in periodes van hitte en droogte. Binnen TKI-project Urban Photosynthesis onderzoeken we het koelende effect van een optimaal verdampende vegetatie op PV-panelen en de mogelijk hogere opbrengst die dit bewerkstelt (Van der Roest et al., 2023). Een altijd optimale watervoorziening is dan cruciaal. Om deze reden en bovenstaande overwegingen is besloten om douchewater te hergebruiken voor irrigatie van de dakvegetatie.

1.2 Zuivering van douchewater als onderdeel van het blauwgroene dak

Er is gekozen voor douchewater omdat dit een relatief schone grijswaterstroom is en de kans op calamiteiten kleiner is dan bijvoorbeeld bij water van wasbakken waarin mogelijk ongewenste stoffen in geloosd worden. Desalniettemin moet het douchewater gezuiverd worden voor toepassing als irrigatiewater, temeer omdat het systeem uiteindelijk overstort op het hemelwaterriool. Binnen het TKI-project is besloten om te onderzoeken of het mogelijk is om de grijswaterzuivering te integreren in het blauwgroene dak en daarmee een 'nature-based' oplossing te ontwikkelen. Uiteraard moet het systeem wel minimaal vergelijkbaar zijn met conventionele zuiveringssystemen. Bijkomende uitdaging is het gewicht, een systeem op een dak mag niet te zwaar zijn. Dikke substraatpakketten zijn dan ook niet mogelijk. De twee identieke gebouwen van Mannoury bieden een unieke kans om het nieuwe systeem (horizontaal doorstroemd helofytenfilter, gebouw 3) te vergelijken met een conventioneel systeem (MembraanBioReactor met microfiltratiemembraan, gebouw 4).

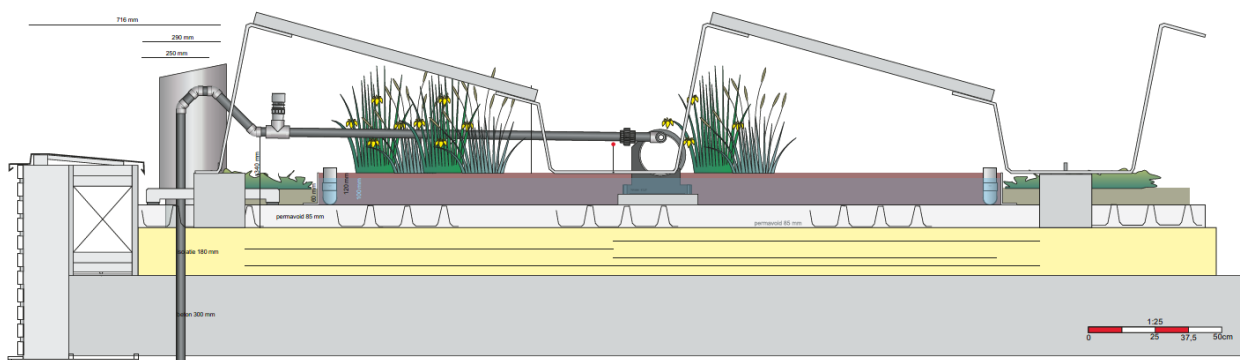
Om te onderzoeken hoe de effluentkwaliteit van het filter zich ontwikkelt, is een monitoringscampagne opgezet waarbij primair de samenstelling van het douchewater en het effluent van het helofytenfilter is onderzocht gedurende de periode november 2021- juni-2023 . Ter vergelijking is ook het effluent van de MBR onderzocht en zijn de uitstroompunten naar het hemelwaterriool onderaan het gebouw bemonsterd. Het systeem is primair onderzocht met betrekking tot de waterkwaliteit, er zijn nog geen andere criteria (kosten, energiegebruik, etc.) vergeleken.

2 Systeembeschrijving

2.1 Horizontaal doorstroomd helofytenfilter

Douchewater is een relatief schone afvalwaterstroom. Toch is voor hergebruik zuivering nodig. Binnen dit onderzoek is onderzocht of dit restwater geïntegreerd in een blauw-groen dak gezuiverd kan worden met een zogenaamde nature-based oplossing in de vorm van een horizontaal doorstroomd helofytenfilter. Kenmerkend hiervoor is de relatieve eenvoud van het systeem en de inzet van micro-organismen en planten om het water te zuiveren. Gewicht speelt bij toepassing op daken een grote rol. Om deze reden is gekozen voor een dunne substraatlaag van 120 mm die maximaal tot 100 mm verzadigd. Als substraat is gekozen voor gebroken geëxpandeerde kleikorrels (bekend als 'Leca' of 'argex') Dit is materiaal met een zeer hoge porositeit en groot specifiek oppervlak. Voorafgaand aan het de bouw is een testopstelling gebouwd om de retentietijd en daarmee het benodigde volume en oppervlak te bepalen. Om het benodigde volume te bepalen is tevens een schatting gemaakt van de douchewatersamenstelling. Over de samenstelling van douchewater is echter slechts zeer beperkt informatie beschikbaar. Voor de influent watersamenstelling is op basis van (beperkt) beschikbare literatuur de volgende schatting gemaakt: CZV: 89 mg/l, BZV: 36 mg/l, Kj-N: 1.87 mg/l, NH₄: 1.56 mg/l, P_{tot}: 1.63 mg/l en MBAS: 75 mg/l).

De uiteindelijke pilot op gebouw 3 is ontworpen op een belasting van 1.400 liter/d, resulterend in een retentietijd van 3 dagen, een bedbreedte van 2,50 m en een lengte van 9,78 m. Het bed wordt in het midden gevoed via een verdeelbuis en gedraineerd door twee drains aan weerszijden van het bed (Figuur 1). Door de uitstroom via een bypass te knijpen, loopt het bed langzaam leeg. Bij opstart van het systeem bleek minder douchewater dan verwacht de verzamel tank te bereiken. Navraag bij de installateur leerde dat slechts de helft van de douches (15 stuks) op het grijswatersysteem is aangesloten omdat "dat wel voldoende zou zijn". Om deze reden zijn de batches naar het helofytenfilter gehalveerd naar een batch van 350 liter in de ochtend en een batch van 350 liter in de avond, resulterend in 700 liter per dag. Deze hoeveelheid bleek voldoende om de zomerdroogte van 2022 te overbruggen.



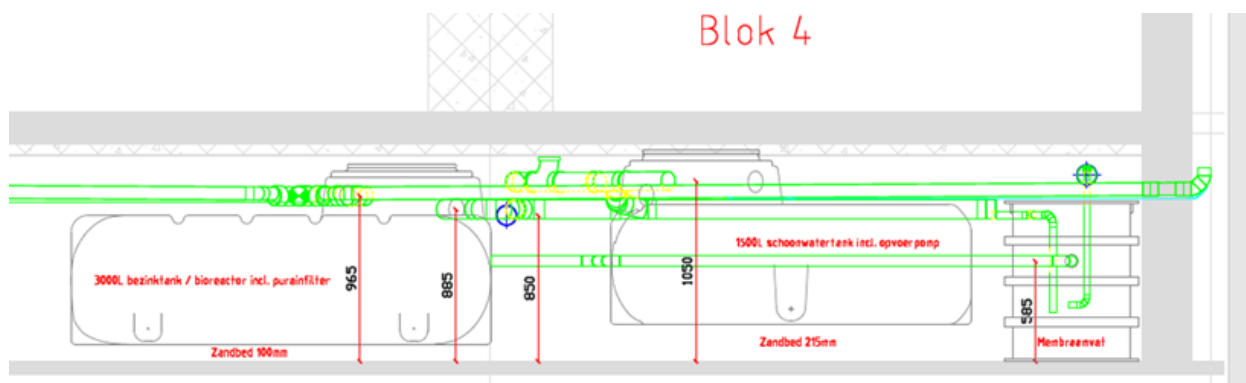
Figuur 1 Het door ECOFYT ontworpen lichtgewicht horizontaal doorstroomde helofytenfilter zoals geplaatst op het dak van gebouw 3.



Figuur 2 Aanleg van het horizontaal doorstroomde helofytenfilter op het dak van Mannoury gebouw 3

2.2 Conventionele membraanbioreactor

Om de resultaten van het horizontaal doorstroomde helofytenfilter te kunnen vergelijken is in de kelder van gebouw 4 een conventionele membraanbioreactor geplaatst die is ontworpen en geleverd door Mijn Waterfabriek. Het ging hierbij om een 3 m³ bezink/bioreactortank inclusief purainfilter, een 1,5 m³ schoonwatertank en een los membraanvat met Aqualoop membraanstation. De componenten zijn geleverd door Intewa. Normaliter kan de membraanunit in de bioreactortank worden geplaatst, door lokale omstandigheden was dit hier niet mogelijk. In de membraanunit zijn PE holle vezel membranen toegepast met een poriediameter van 0.1-0.3 µm (nominaal 0.2 µm). Bij plaatsing kon geen vrij verval overstort naar het vuilwaterriool worden gerealiseerd. Als alternatief is een sanibroyeur-installatie geplaatst om overtollig water en vuil af te voeren. Het systeem is hierdoor kwetsbaarder geworden voor storingen. Door stroomuitval is de sanibroyeur uitgevallen geweest en de bioreactortank overgelopen. Als geluk bij een ongeluk kwam hierbij ook een foutaansluiting tussen de bioreactortank en de schoonwatertank aan het licht. Door deze wanverbinding kon er water uit de bioreactor direct overstorten in de schoonwatertank. Na schoonmaak van de tank en verwijdering van de wanverbinding en aanpassing van enkele instellingen (o.a. hoeveelheid lucht) is het systeem weer opgestart.



Figuur 3 Doorsnede van het in gebouw 4 geplaatste MBR systeem

3 Meetresultaten & discussie

3.1 Douchewaterkwaliteit

Het verzamelde douchewater is afhankelijk van de parameter 4 tot 9 keer bemonsterd. Een overzicht van de gemiddelde samenstelling is opgenomen in Tabel 1 in bijlage I. Voor enkele stoffen zijn de resultaten visueel weergegeven (Figuur 4). De pH en geleidbaarheid varieerden nauwelijks over de meetperiode en waren gemiddeld 7.6 en 831 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectievelijk. Ook de chlorideconcentratie was behoorlijk constant rond een gemiddelde van 86 mg/l. De BZV en CZV bedroegen gemiddeld 51 en 147 mg/l. Dit ligt iets boven de schattingen van Hijnen & Groot-Marcus (2001) die uitgaan van een chemisch zuurstofverbruik van 4.45 g O_2 pppd in combinatie met een gemiddelde hoeveelheid douchewater per persoon per dag van 46.5 liter (Bakker et al., 2021), wat resulteert in een CZV van 96.3 mg/l en uitgaande van een verhouding CZV:BZV van 7.6:3, in een BZV van 38 mg/l. Het verschil kan waarschijnlijk worden toegewezen aan een, gezien de milieubewustheid van de bewoners, lager waterverbruik per douchebeurt dan het CBS gemiddelde. Daarnaast is er een mogelijke effect van urine in het douchewater op CZV en BZV. Het zuurstofgehalte van het douchewater in de verzameltank is laag met gemiddeld 0.14 mg/l. De hoeveelheid wasactieve stoffen is uitgedrukt als mg/l anion actieve detergents. Hijnen & Groot-Marcus (2001) gaan uit van 0.84 g wasactieve stoffen voor douchen per persoon per dag, resulterend in een douchewaterconcentratie van 18.2 mg/l. De door ons gevonden gemiddelde concentratie bedraagt 4.2 mg/l en is dus aanzienlijk lager. Wel zijn er uitschieters gemeten tot 12 mg/l.

In douchewater zijn altijd nutriënten aanwezig. De gemiddelde concentraties totaal P, totaal N en Kjeldahl-N bedragen bijvoorbeeld respectievelijk 2.34, 24.8 en 26 mg/l. Vooral de hoge stikstofconcentratie is opvallend. Totaal N en Kjeldahl-N zijn nagenoeg gelijk, de verschillen zitten in de meetonzekerheid. De stikstof in het douchewater bestaat hiermee volledig uit organische stikstof, maar vooral ook ammonium (gemiddeld 22.5 mg/l). De meest voor de hand liggende verklaring hiervoor is de aanwezigheid van urine in het douchewater. Zink als proxy voor metalen in het douchewater en als actief ingrediënt tegen roos in shampoos heeft een gemiddelde concentratie van 42.4 $\mu\text{g}/\text{l}$ met een enkele uitschieter naar 65 $\mu\text{g}/\text{l}$. Waar deze uitschieter door is veroorzaakt, is niet duidelijk. Douchewater bevat hoge aantallen bacteriën. Hijnen & Groot-Marcus (2001) komen op basis van ATP-metingen uit op 10^7 bacteriën per ml. Een deel van deze bacteriën is, inherent aan douchen, van fecale oorsprong. In de studie van Hijnen & Groot-Marcus (2001) bedroeg de mediane waarde van thermotolerante bacteriën van de coligroep (indicator voor fecale besmetting) $1.6 \cdot 10^4$ kve/l in douchewater. De hoeveelheid aangetroffen thermotolerante bacteriën van de coligroep was echter zeer variabel en liep op tot maximaal $5.0 \cdot 10^6$ kve/l. De door ons in het douchewater aangetroffen concentratie bacteriën van de coligroep is gemiddeld $3.0 \cdot 10^6$ kve/l oplopend tot maximaal $9.0 \cdot 10^6$ kve/l. Een deel van deze bacteriën is daadwerkelijk *E. coli*. De concentratie *E. coli* bedroeg gemiddeld $2.0 \cdot 10^6$ kve/l oplopend tot $6.0 \cdot 10^6$ kve/l. De fecale belasting zit hiermee aan de hoge kant van de door Hijnen & Groot-Marcus (2001) geschetste range.

De uiteindelijke belasting t.a.v. CZV, BZV en nutriënten blijkt hoger dan vooraf geschat. De concentratie wasactieve stoffen blijkt juist lager te zijn. Doordat ook de hoeveelheid water is gehalveerd bij gelijkblijvend volume substraat was er vertrouwen dat het filter toch voldoende goed zou presteren.

3.2 Effectiviteit horizontaal doorstroomd helofytenfilter

Door het naar het Blauw-groene dak uitstromende effluent van het horizontaal doorstroomde helofytenfilter te bemonsteren is inzicht verkregen in de werking van dit systeem (middelste kolommen Tabel 1). Het chemisch en biologisch zuurstofverbruik neemt sterk af tot respectievelijk gemiddeld 9.6 en 1.8 mg/l (afname resp. 96.5% en 93.4%). Hiermee wordt ruim voldaan aan de CZV/BZV lozingsgrenswaarden voor IBA klasse IIIb systemen¹ van respectievelijk 200 en 40 mg/l in enig steekmonster (CIW/CUWVO, 1999).

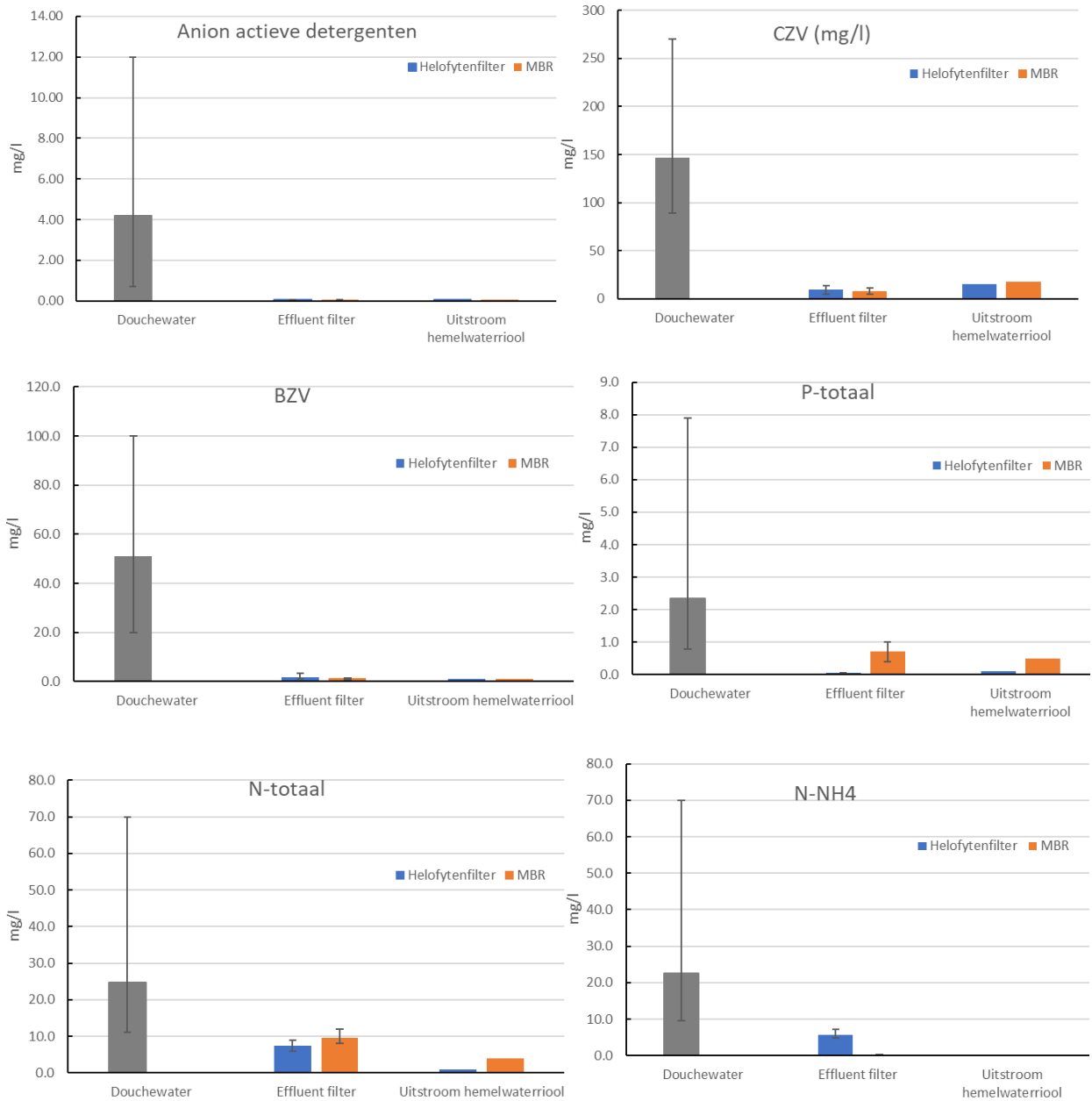
De verwijdering van fosfaat uit het douchewater blijkt zeer effectief. De concentraties orthofosfaat, P_{totaal} en $P_2O_5_{\text{totaal}}$ nemen af tot beneden de rapportagegrens van respectievelijk 0.02, 0.05 en 0.12 mg/l (afnames resp. 98.8, 97.9 en 97.5 %). Ook zink wordt goed verwijderd, tot onder de rapportagegrens van 10 µg/l. De goede verwijdering van zink en fosfaat is toe te schrijven aan de hoge sorptiecapaciteit van de in het filter toegepaste gebroken argex korrels. De verwijdering van wasactieve stoffen (anion actieve detergenten) verloopt eveneens zeer effectief met een afname van 98.7 % tot beneden de rapportagegrens van 0.05 mg/l. De verwijdering van stikstof uit het water verloopt naar verhouding minder effectief wat is toe te wijzen aan de beperkte omzetting van ammonium. De concentratie NH_4-N neemt met 74.2% af tot gemiddeld 5.8 mg/l. Hieraan gerelateerd neemt N_{tot} af met 70% tot 7.5 mg/l. Hoewel totaal stikstof hiermee voldoet aan de richtlijn, is ammonium iets verhoogd ten opzichte van de lozingsgrenswaarde van 4 mg/l voor IBA IIIb systemen. De verhoogde waarde wordt veroorzaakt door de relatief hoge ammoniumconcentratie in het douchewater en het ontbreken van beluchting in de verzameltank waardoor de oxidatie van ammonium (nitrificatie) traag op gang komt. Na afronden van de meetperiode is daarom een beluchting geplaatst in deze tank om zo de omzetting van ammonium te versnellen. Overigens zal in het traject na het helofytenfilter verdere omzetting en opname van ammonium plaatsvinden. Hierop wordt nader ingegaan in paragraaf 3.4.

De verwijdering van fecale bacteriën in het horizontaal doorstroomde filter is beperkt. De concentraties bacteriën van de coligroep en *E.coli* dalen gemiddeld tot respectievelijk $4.0 \cdot 10^4$ en $2 \cdot 10^4$ kve/l, een daling van ca. 2 logeenheden. Ten aanzien van *E.coli* voldoet het water hiermee aan de hergebruiksnorm voor irrigatie klasse D en bijna aan klasse C². Naast bacteriën kunnen ook virussen in het water aanwezig zijn en is nagroei van opportunistische pathogenen mogelijk. Zonder aanvullende desinfectie moet directe blootstelling (o.a. bij sproeien/vernevelen) dan ook worden voorkomen (zie ook Hamilton et al., 2018). Voor irrigatie van niet-voedselgewassen via de bodem (bijv. via het capillaire irrigatiesysteem op de blauwgroene daken) voldoet het irrigatiewater aan de minimale eisen.

De continue beschikbaarheid van water en voedingsstoffen in het helofytenfilter maar ook in het aangrenzende blauwgroene dak bleek een goede groeiplaats van harig wilgenroosje (*Epilobium hirsutum*), wat als zaad via de lucht is aangevoerd naar de daken. Hoewel niet ongewenst vanuit ecologisch en zuiveringstechnisch opzicht, kan deze plant relatief hoog worden (tot 1.5 m). Hierdoor ontstond schaduw op de zonnepanelen. Door de jaarlijkse onderhoudsbeurt op deze plant af te stemmen kan dit door snoeien/trekken onder controle worden gehouden.

¹ Strengste IBA klasse voor lozing op kwetsbare watersystemen

² <https://eur-lex.europa.eu/NL/legal-content/summary/minimum-requirements-for-water-reuse.html>



Figuur 4 Gemiddelde concentraties van in douchewater, helofytenfilter en MBR effluent voor anion actieve detergents, CZV, BZV, P_{tot}, N_{tot} en NH₄. Met de errorbars zijn de minimale en maximale meetwaarden weergegeven

3.3 Vergelijking met het conventionele MBR systeem

In het aangrenzende gebouw (4) is een conventionele membraanbioreactor (MBR) geplaatst. Omdat het hierbij gaat om een commercieel verkrijgbaar beproefd systeem is de waterkwaliteit minder frequent bemonsterd dan bij het helofytenfilter. (De eerste meting is niet meegenomen in de analyse omdat het systeem op dat moment nog moest herstellen van een foutaansluiting tussen de reactor tank en de schoonwatertank. Onderstaande bevindingen zijn dan ook gebaseerd op 2 monsterrondes). Zoals verwacht mag worden neemt ook bij dit systeem de CZV en BZV fors af tot ruim onder de IBA-lozingsgrenswaarden. De gemiddelde concentraties voor respectievelijk CZV en BZV in het effluent zijn met 9.67 en <2.1 mg/l vergelijkbaar met het horizontaal doorstroomde helofytenfilter. Ten aanzien van fosfaat presteert de MBR minder dan het horizontaal doorstroomde helofytenfilter met een afnames van orthofosfaat, P_{totaal} en $P_2O_5 \text{ totaal}$ tot gemiddeld respectievelijk 0.63, 0.71 en 1.62 mg/l (afnames resp. 61.8, 69.9 en 65.9 %). Ook passeert zink min of meer ongestoord de zuivering. Dit is in de lijn der verwachting omdat er geen of heel beperkt sorptie kan plaatsvinden in het MBR-systeem. De verwijdering van wasactieve stoffen in het MBR is vergelijkbaar met het helofytenfilter. Ten aanzien van stikstof presteert de MBR wel duidelijk beter. Ammonium wordt vrijwel geheel omgezet (gemiddelde in effluent 0.26 mg/l) en voldoet daarmee ruim aan de IBA IIIb lozingsgrenswaarde. N_{tot} in het effluent is met een concentratie van 10 mg/l vergelijkbaar met het effluent van het helofytenfilter en ver onder de norm van 60 mg/l.

Ook de verwijdering van micro-organismen is aanzienlijk hoger. De concentratie bacteriën van de coligroep bedraagt in de schoonwatertank 100 kve/l, tijdens één monsterronde is ook *E.coli* in de schoonwatertank aangetroffen met 100 kve/l. Hiermee kan een verwijdering van 4 logeenheden aan de MBR worden toegekend. Dit is in lijn met de poriediameter van het geïnstalleerde microfiltratie-membraan (0.1-0.3 μm) wat doorslag van enkele *E.coli*'s (lengte 1-2 μm , diameter 0.25-1 μm) niet uitsluit. Het water voldoet hiermee aan de minimumeisen voor klasse C of zelfs B volgens de verordening voor waterhergebruik. Het effluent kan echter nog wel humane virussen bevatten, ook zal biofilmvorming plaatsvinden en mogelijk groei van opportunistische pathogenen. Directe blootstelling en in het bijzonder versproeien/verstuiven van dit water is dan ook nog steeds af te raden zonder aanvullende desinfectie.

3.4 Uitstroom naar het hemelwaterriool

Zoals al aangegeven cascadeert het effluent van beide systemen door een serie blauwgroene daken en plantenbakken om uiteindelijk uit te stromen naar het regenwaterriool. Tijdens deze cascade wordt het water verder belucht en bijgemengd met regenwater. Daarnaast worden door de beplanting nutriënten uit het water opgenomen. Uit de substraten (hier Optigrün extensief substraat M) kunnen echter ook stoffen uitloggen met het infiltrerende hemelwater en ook worden de daken fecaal belast door vogels en andere dieren. Om een indruk te krijgen van het uiteindelijk uit het systeem stromende water is het uitstroompunt van beide daken bemonsterd. De resultaten hiervan zijn opgenomen in de 3^e kolom van Tabel 1 en Tabel 2 in de bijlage. Door schade aan één van de daken heeft dit helaas niet gelijktijdig kunnen plaatsvinden. De uitstroom van gebouw 4 bevat om deze reden verhoudingsgewijs meer hemelwater. Door de chlorideconcentraties van het effluent met die van de uitstroom te vergelijken wordt echter een indruk van de verdunning verkregen. Bij gebouw 4 (MBR) is het verschil een factor 7.3. Bij gebouw 3 (horizontaal doorstroomd helofytenfilter) is dit een factor 1.72. Als deze verdunningscorrecties worden toegepast op de gemeten concentraties in de uitstroom naar het hemelwaterriool van beide gebouwen wordt nog steeds voldaan aan de IBA IIIb lozingsgrenswaarden.

3.4.1 Kwaliteit uitstroom gebouw 3

De, in de uitstroom van gebouw 3, gemeten CZV is met 15 mg/l iets toegenomen ten opzichte van het effluent uit het filter. De BZV (<1 mg/l) is vergelijkbaar of iets lager. Ondanks de (beperkte) verdunning met regenwater is de fosforconcentratie in de uitstroom (orthofosfaat, P_{totaal} en $P_{2O_5 \text{ totaal}}$ respectievelijk 0.07, 0.1 en 0.22 mg/l) hoger dan de gemiddelde effluentconcentratie. Deze fosfor is waarschijnlijk afkomstig van langzaam werkende meststoffen in de substraatlaag van de blauw-groene daken. De concentraties blijven hiermee overigens nog ruim beneden de IBA IIIb richtlijn. De stikstofcomponenten zijn wel fors afgenomen in het uitstromende water. N_{totaal} is afgenomen tot onder de rapportagegrens van 1 mg/l. De concentratie NH_4-N is lager dan 0.05 mg/l en voldoet hiermee ruim aan de IBA IIIb lozingsgrenswaarde van 4 mg/l. Door de verdere cascadering en blauwgroene daken en plantenbakken is ammonium dus effectief omgezet en opgenomen. Overigens is het goed om te beseffen dat ammonium in het lokale grondwater van Amsterdam in hoge concentraties (>12 mg/l; Yu et al., 2018) aanwezig is. De ammoniumbijdrage van het hier beschreven systeem is qua stoffluxen dan ook te verwaarlozen ten opzichte van de flux vanuit het grondwater. Overige parameters waren al na passage van het helofytenfilter voldoende laag en worden hier niet nader besproken.

3.4.2 Kwaliteit uitstroom gebouw 4

Ook bij gebouw 4 is de, in de uitstroom gemeten CZV, met 18 mg/l wat toegenomen ten opzichte van het effluent uit de MBR. De BZV is met 1 mg/l gelijk of iets lager. Ondanks de forse verdunning met regenwater is de concentratie fosfor in de uitstroom (orthofosfaat, P_{totaal} en $P_{2O_5 \text{ totaal}}$ respectievelijk 0.48, 0.49 en 1.1 mg/l) maar beperkt afgenomen in verhouding tot de concentratie in het effluent. Net als bij gebouw 3 kan dit worden toegeschreven aan uitspoeling uit de substraatlaag en gezien het moment van monsternamen (eind maart) nog geringe opname door planten. Ook de stikstofconcentraties laten gezien de verdunning slechts een beperkte verlaging zien. De concentratie Kjelhdahl-N is zelfs wat hoger dan in het effluent want kan wijzen op extra influx van organische stikstof uit het substraat. Ondanks de geringe verdere daling voldoen bovenstaande concentraties ruim aan de IBA IIIb lozingsgrenswaarden en de minimumeisen voor irrigatiewaterkwaliteit uit EU-verordening 2020/741 inzake minimumeisen voor hergebruik van water. De in de uitstroom gemeten concentratie bacteriën van de coligroep is aanzienlijk toegenomen ($3.8 \cdot 10^4$ t.o.v. gemiddeld 100 kve/l in het MBR-effluent). Via de groendaken treedt dus herbesmetting van het water op met fecale indicatorbacteriën tot een niveau vergelijkbaar met het effluent van het helofytenfilter. Deze gemeten waarden van ca. 10^4 kve/l zijn lager dan de gemiddelde concentratie

in afstromend hemelwater (Stowa database afstromend regenwater; Liefting et al, 2020) met een gemiddelde $10^{7,5}$ kve/l voor thermotolerante bacteriën van de coligroep.

4 Conclusies & aanbevelingen

4.1 Conclusies

- Integratie van een 'nature based' zuiveringstelsel (horizontaal doorstroomd helofytenfilter) voor de behandeling van douchewater in groen-blauwe daken blijkt haalbaar qua omvang en belasting.
- Het bemonsterde douchewater heeft een hogere CZV, BZV en vooral een hogere ammoniumconcentratie (en daarmee hogere totaal N en Kjeldahl-N) dan verwacht op basis van (beperkt) beschikbare literatuur. Deze verhoogde concentraties worden waarschijnlijk veroorzaakt door urine in het douchewater. De gemeten concentratie wasactieve stoffen is lager dan de literatuurwaarden.
- Het effluent van het horizontaal doorstroomde helofytenfilter voldoet met uitzondering van ammonium aan de lozingsgrenswaarde voor IBA IIIb systemen. Met de MBR wordt ammonium wel ruim voldoende omgezet. In vergelijking met de MBR is de verwijdering van bacteriën van de coligroep in het helofytenfilter lager (2 log t.o.v. 4 log voor de MBR). De verwijdering van fosfor en zink is juist hoger in het horizontaal doorstroomde helofytenfilter. Het effluent van beide systemen voldoet aan de EU minimum vereisten voor irrigatiewater bij gebruik voor niet-voedselgewassen en irrigatie zonder sproeien (klasse D)
- Tijdens de cascadering langs groen-blauwe daken vindt aanvullende omzetting door bacteriën, opname door planten en verdunning met regenwater plaats waardoor bij de uitstroom van zowel gebouw 3 als 4 ruim wordt voldaan aan de IBA IIIb lozingsgrenswaarden. Wel blijkt er uitspoeling uit de substraatlaag op te treden waardoor de CZV weer wat stijgt en de concentratie fosfor minder ver daalt of zelfs stijgt ten opzichte van de effluent concentratie.
- In het effluent van beide systemen kunnen humaan pathogene virussen aanwezig zijn, daarnaast is gezien de temperatuur van het douchewater (gemiddeld 21.5 °C) groei van opportunistische pathogenen mogelijk. Zonder aanvullende desinfectie is het effluent van beide systemen ongeschikt om te versproeien of te vernevelen. Irrigatie van onderaf via de capillaire cones en substraatlaag of via druppelirrigatie is wel mogelijk.
- Het horizontaal doorstroomde helofytenfilter is technisch eenvoudiger en bleek hierdoor niet gevoelig voor storingen. Het MBR systeem is complexer qua installatietechniek en daarmee gevoeliger voor fouten bij de installatie (foutaansluitingen) en storingen door bijvoorbeeld stroomuitval.

4.2 Aanbevelingen

- Het douchewater en het effluent is voornamelijk onderzocht over een beperkte periode van ruim een jaar. Het is aan te bevelen om het helofytenfilter te blijven volgen in de komende jaren. Door budgetbeperkingen is het aantal onderzochte parameters beperkt, in een vervolg kan hierop mogelijk worden uitgebreid.
- In deze studie is de bron van de verhoogde ammoniumconcentraties niet nader onderzocht en aangenomen dat dit afkomstig is van urine. Gezien de mogelijke bijdrage van medicijnresten via urine is nader onderzoek hiernaar gewenst.

- Om de omzetting van ammonium te verbeteren is het aan te bevelen om een beluchting te plaatsen op de verzameltank voor het verpompen naar het helofytenfilter. Deze beluchting is inmiddels geplaatst.
- Bij de MBR is het mogelijk om de membranen te vervangen voor ultrafiltratiemembranen. Hiermee is een aanzienlijk hogere virusverwijdering te verkrijgen (4-5 log). Vraag blijft echter of dit voldoende is bij een virale besmetting.

5 Referenties

Bakker, J., Mooren, F. van der, Boonstra, H.J. (2021) Watergebruik Thuis (WGT) 2021 Schattingen van het watergebruik per dag door personen en huishoudens. CBS Den Haag

Busker, T., de Moel, H., Haer, T., Schmeits, M., van den Hurk, B., Myers, K., Cirkel, D.G. & Aerts, J. (2022). Blue-green roofs with forecast-based operation to reduce the impact of weather extremes. *Journal of Environmental Management*, 301, 113750.

Cirkel, D. G., Voortman, B. R., Van Veen, T., & Bartholomeus, R. P. (2018). Evaporation from (Blue-) Green Roofs: Assessing the benefits of a storage and capillary irrigation system based on measurements and modeling. *Water*, 10(9), 1253.

CIW/CUWVO (1999) Individuele Behandeling van Afvalwater IBA - systemen. Handreiking voor de uitvoering van het Lozingenbesluit WVO huishoudelijk afvalwater en het Lozingenbesluit bodem bescherming CIW 4 1999-01

Hamilton, K. A., Hamilton, M. T., Johnson, W., Jjemba, P., Bukhari, Z., LeChevallier, M., & Haas, C. N. (2018). Health risks from exposure to Legionella in reclaimed water aerosols: Toilet flushing, spray irrigation, and cooling towers. *Water research*, 134, 261-279.

Hijnen, W.A.M. en Groot-Marcus, J.P. (2001) Kwaliteit van douche- en wasmachinespoelwater bestemd voor hergebruik bij toiletspoeling Overwegingen met betrekking tot systeemontwikkeling, KOA 01.099, Kiwa Nieuwegein

Liefting, E., Boogaard, F.C., Langeveld, J. (2020). Kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland. Database kwaliteit afstromend hemelwater. STOWA/RIONED rapport 2020-05.

Roest, E. van der, Voeten, J. G., & Cirkel, D. G. (2023). Increasing solar panel output with blue-green roofs in water-circular and nature inclusive urban development. *Building and Environment*, 244, 110704.

Yu, L., Rozemeijer, J., Van Breukelen, B. M., Ouboter, M., Van Der Vlugt, C., & Broers, H. P. (2018). Groundwater impacts on surface water quality and nutrient loads in lowland polder catchments: monitoring the greater Amsterdam area. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(1), 487-508.

I Gemiddelde samenstelling douchewater, effluent helofytenfilter en uitstroom naar HWA gebouw 3

Tabel 1 Gemiddelde samenstelling van het douchewater, het effluent van het helofytenfilter en het vanuit gebouw 3 naar het hemelwaterriool stromende water

		Douchewater		Effluent helofytenfilter		Uitstroom regenwaterriool	
		n	gemiddelde	n	gemiddelde	n	gemiddelde
pH	-	9	7.64	6	7.31	1	7.19
Geleidbaarheid	mS/cm	8	831	5	674	1	544
BZV	mg/l	9	51.0	6	< 1.80	1	< 1
CZV	mg/l	9	147	6	< 9.60	1	15
Zuurstof	mg/l	7	0.14	5	1.77	1	1.81
Ortho -P (PO4-P)	mg/l	8	1.65	6	< 0.02	1	0.07
Totaal -P	mg/l	8	2.34	6	< 0.05	1	0.1
Totaal -P2O5	mg/l	7	4.74	6	< 0.12	1	0.22
Kj-N	mg/l	9	26.0	6	6.35	1	< 1
NH4-N	mg/l	9	22.5	6	5.80	1	< 0.05
NO3-N	mg/l	9	< 0.18	6	1.50	1	< 0.2
Totaal - N	mg/l	9	24.8	6	7.47	1	< 1
Anion actieve detergenten	mg/l	8	4.20	6	< 0.05	1	< 0.05
Droogrest NEN 6621	mg/l	8	44.2	6	< 4.72	1	< 5
Bez.vol. 1 uur	ml/l	4	< 0.45	2	< 0.10		
Zink	µg/l	7	42.4	6	< 10.0	1	< 10
Chloride	mg/l	5	86	4	86.0	1	50
Bact. Coligroep	cfu/l	5	3.E+06	3	4.E+04		
<i>E.coli</i>	cfu/l	5	2.E+06	3	2.E+04		

< alle metingen beneden detectielimiet; < één of enkele metingen beneden detectielimiet

II Gemiddelde samenstelling MBR effluent en uitstroom naar HWA gebouw 4

Tabel 2 Gemiddelde samenstelling van het water in de bioreactortank, het effluent van de MBR en het vanuit gebouw 4 naar het hemelwaterriool stromende water. De eerste meting in de MBR is niet meegenomen in de analyse omdat er nog effect zichtbaar was van een foutaansluiting

		Bioreactortank		Effluent membraanbioreactor		Uitstroom regenwaterriool	
		n	gemiddelde	n	gemiddelde	n	gemiddelde
pH	-	2	7.62	2	7.42	1	7.94
Geleidbaarheid	mS/cm	2	696.5	2	698.5	1	270
BZV	mg/l	2	9.65	2	< 1.25	1	1
CZV	mg/l	2	46	2	8	1	18
zuurstof	mg/l	2	4.27	2	3.175	1	8.14
Ortho -P (PO4-P)	mg/l	2	0.32	2	0.63	1	0.48
Totaal -P	mg/l	2	0.865	2	0.705	1	0.49
Totaal -P2O5	mg/l	2	1.95	2	1.615	1	1.1
Kj-N	mg/l	2	3.25	2	< 1.05	1	5.2
NH4-N	mg/l	2	< 0.112	2	0.26	1	0.093
NO3-N	mg/l	2	8.8	2	9.3	1	3.7
Totaal - N	mg/l	2	10.1	2	10	1	4
Anion actieve detergenten	mg/l	2	< 0.05	2	< 0.05	1	< 0.05
droogrest NEN 6621	mg/l	2	21	2	< 3.5	1	< 5
bez.vol. 1 uur	ml/l	1	0.8	1	< 0.1	0	
zink	µg/l	2	56	2	54.5	1	40
chloride	mg/l	1	81	1	80	1	11
<i>Bact. Coligroep</i>	cfu/l	1	8.E+04	1	1.E+02	1	4.E+04
<i>E.coli</i>	cfu/l	1	< 1.E+04	1	1.E+02	1	< 1.E+03

< alle metingen beneden detectielimiet; < één of enkele metingen beneden detectielimiet

Jaar van publicatie
2023

[Meer informatie](#)

Dr. ir. Gijsbert Cirkel

T 06-20614497

E Gijsbert.cirkel@kwrwater.nl

Groninghaven 7

Postbus 1072

3430 BB Nieuwegein

T +31 (0)30 60 69 511

E info@kwrwater.nl

I www.kwrwater.nl

KWR 2023.104 | 20-11 2023 ©KWR

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

Keywords

Douchewater, grijswater, helofytenfilter, irrigatiewater, decentraal, blauw-groene daken, waterkwaliteit