



I-QUA

I-QUA Eindrapportage

Pilotbeschrijvingen, afwegingskader, proces en leerpunten

Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

Colofon

Titel: I-QUA Eindrapportage. Pilotbeschrijvingen, afwegingskader, proces en leerpunten

Rapportnummer LeAF-21522

Projectnummer 97020004- I-QUA Pilot terugwinning grondstoffen/energie

Status: Eindrapport

Datum: 26 april 2022

Auteur(s): Tiemen Nanninga, Sanna Melita, Wouter de Buck, Iemke Bisschops (LeAF)
Jente Lezy, Stijn van Hulle, Francis Meerburg (UGent)

Met bijdragen van: Veerle Dupuyd (Vlakwa)
Alex Hol, Erwin Koetse (BKH-Water)
Jan Dop (JDop rioleringsadvies)
Tijs Wagenaar, Tim Verhagen, Harold Soffner (Gemeente Bernheze)
Huub van Leijsen (Pukkemuk)
Peter Trommelen (Gemeente Gilze-Rijen)

Aantal pagina's: 143

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Dit rapport is online gepubliceerd op www.i-qua.eu.



Samenvatting

Zowel in Nederland als in Vlaanderen ligt een grote opgave om de afvalwatervoorzieningen en/of rioleringen in het buitengebieden te onderhouden, te vervangen of aan te leggen. Op veel locaties in het buitengebied van Nederland ligt een mechanisch rioolstelsel (zowel vacuüm- als persriolering) dat op bepaalde plekken aan haar maximale capaciteit zit of aan vervanging toe is. De combinatie met ontwikkelingen in het buitengebied, die voor grote hoeveelheden afvalwater zorgen op piekmomenten, maakt dat de noodzaak voor een doelmatig alternatief groot is. In Vlaanderen is ten doel gesteld om de zuiveringsgraad (percentage van inwoners waarvan het afvalwater na transport effectief gezuiverd wordt) te verhogen naar 98% met een rioolstelsel of lokale zuivering. De grootste uitdaging is nog om de kleinere en meer afgelegen woonkernen te voorzien van afvalwaterzuivering. Het probleem van groeiende waterschaarste, te wijten aan de klimaatsverandering en de bevolkingsgroei, en de noodzaak voor een circulaire economie maakt dat hergebruik van grondstoffen (inclusief water) hoger op de politieke agenda's is komen te staan. Nederland en Vlaanderen staan dus beiden voor een aantal uitdagingen over hoe om te gaan met afvalwater in het buitengebied. Om hier gezamenlijk antwoorden voor te vinden is in 2015 het I-QUA project opgezet.

Het doel van het I-QUA-project was om kennis en ervaring op te doen met nieuwe afvalwaterzuiveringstechnologieën voor het buitengebied die het milieu beschermen en terugwinnen van grondstoffen mogelijk maken. Stakeholders uit Nederland en Vlaanderen zijn een grensoverschrijdende samenwerking aangegaan om duurzame en innovatieve afvalwaterzuiveringstechnologieën voor het buitengebied te ontwikkelen, onderzoeken en demonstreren op 6 pilotlocaties.

In de pilot Mobiel Rietveld (ECOZmobile) is een mobiele zuiveringsinstallatie ontwikkelt en getest voor de behandeling van afvalwater bij evenementen. Ook is gekeken of dit afvalwater opgewerkt kon worden tot drinkwaterkwaliteit met een aanvullende zuivering. Bij de pilot Gust'Eaux is een helofytenfilter in combinatie met aanvullende zuiveringstechnologieën ontwikkelt en getest voor de behandeling van het huishoudelijk afvalwater van het restaurant tot drinkwaterkwaliteit. Bij een geitenboerderij te Lochristi werd het huishoudelijk afvalwater in combinatie met het spoelwater van de melkmachines lokaal gezuiverd. In de pilot bij deze geitenboerderij zijn twee secundaire zuiveringen ontwikkelt en getest om te kijken of deze konden bijdragen aan het behalen van de fosfaatnorm, welke hier een uitdaging bleek. In de pilot van HVCH zijn verschillende technologieën ontwikkelt voor verschillende afvalwaters. Een MBR is getest voor de behandeling van zwartwater, een Phytoparking is getest voor de behandeling van grijswater en een ozonbehandeling is getest voor de behandeling van urine. Er is ook onderzocht of de behandelde urine een interessante meststof kan zijn. Bij de Carwash pilot in Gilze-Rijen is een omgekeerde osmose met een aantal voorbehandelingsstappen ontwikkelt en getest voor de behandeling van het afvalwater van een autowasstraat tot waswaterkwaliteit. Ten slotte is in Pukkemuk een wilgenfilter ontwikkelt en zijn aanvullende technologieën geplaatst zodat het afvalwater hergebruikt kan worden voor toiletspoeling.

Voor een groot deel van de technologieën is aangetoond dat deze geschikt zijn voor decentrale zuivering van de verschillende soorten afvalwaters in het buitengebied en kunnen daar een alternatief bieden voor riolering om het rioolstelsel te ontlasten. Deze technologieën kunnen voldoen aan de van tevoren bepaalde (wettelijke) grenswaarde voor lozing. Dit is het geval voor de technologieën getest in Mobiel Rietveld (alleen voor behandeling van grijswater), Gust'Eaux en Carwash. Ook bij de pilots geitenboerderij en HVCH zijn een aantal van de geteste technologieën geschikt geacht, namelijk de IOCS ende MBR. Sommige technieken vergen nog verder onderzoek voordat geconcludeerd kan worden of deze geschikt zijn voor decentrale zuivering. Dit is het geval voor de Phytoparking en ozonbehandeling bij HVCH en voor het wilgenfilter van Pukkemuk. De Phytoparking is niet goed

aangesloten geweest waardoor het niet representatief afvalwater heeft kunnen behandelen. De werking van de ozoninstallatie kon niet goed worden aangetoond omdat er beperkt onbehandelde urine is geanalyseerd, terwijl de urine na behandeling soms onverklaarbare resultaten lieten zien. Het wilgenfilter van Pukkemuk is nog niet in werking gesteld vanwege vertraging in bouw van de recreatieverblijven. De oorzaak hiervan waren de Covid-19 maatregelen en uitloop van subsidie- en vergunningentrajecten.

Naast de technologische werking is ook de financiële haalbaarheid van een technologie een belangrijk aspect voor de rendabele toepassing hiervan. Hierbij moet wel de kanttekening worden geplaatst dat in de pilot veel ontwikkel- en monitoringskosten worden gemaakt. Voor een aantal technologieën is gebleken dat deze nog niet financieel haalbaar zijn en dat er nog optimalisatiestappen nodig zijn voordat deze succesvol kunnen worden toegepast. De mobiele zuivering ECOZmobile en de zuiveringsinstallatie bij de Carwash zijn financieel niet interessant gebleken voor verdere toepassing, en van de MBR bij HVCH bleken de operationele kosten hoger dan verwacht. Het is dus nog de vraag of deze technologie in de toekomst financieel interessant zal zijn. Over de technologieën bij de geitenboerderij is geen financiële informatie beschikbaar gemaakt, hier kan dus geen conclusie over worden getrokken. Ook zijn er technologieën die wel financieel aantrekkelijk lijken. De zuiveringsinstallatie bij Gust'Eaux werd 3 tot 10 keer goedkoper geacht dan het aanleggen van het rioolnetwerk, dit is wel afhankelijk van de afstand tot het nabijgelegen riool. Ook de Phytoparking bij HVCH en de zuiveringsinstallatie bij Pukkemuk lijken financieel haalbaar te zijn. Het moet echter nog worden aangetoond of deze technologie aan de lozingsnorm en hergebruikseisen kunnen voldoen.

De doorlopen ontwikkelprocessen verschillen per pilot. Hierbij zijn veel variabelen. Afhankelijk van de casus verschilde het type en aantal betrokken stakeholders (overheden, leveranciers, adviseurs), de wettelijke kaders waaraan de installatie en/of het effluent moet voldoen, de benodigde vergunningen, de samenstelling en hoeveelheid afvalwater, en welk type technologie het meest geschikt is. Deze omgang met afvalwater in het buitengebied is relatief nieuw, en afwezigheid van een gestructureerd en vastgesteld proces maakt realisatie van dergelijke projecten zeer lastig. Gedurende het project is gemerkt dat het veel energie kost om een pilot te realiseren. Als de pilot eenmaal ontwikkeld is, komen er vaak veel positieve reacties en worden overheden welwillend om mee te denken. De ervaringen opgedaan in het I-QUA project zijn daarom gebruikt om een afwegingskader op te stellen, die in de toekomst gebruikt kan worden om dit proces te faciliteren. Ook is kennis over omgang met afvalwater, in de vorm van een Longlist en informatie op de website van I-QUA, de Saniwijzer en de Sanimonitor, gratis beschikbaar gesteld aan geïnteresseerden.

De nieuwe inzichten die zijn opgedaan in het project zorgen ervoor dat zowel in Vlaanderen als Nederland gerichtere keuzes kunnen worden gemaakt in het aanpakken van de opgave van afvalwater in het buitengebied. Ook heeft het project kansen aangetoond voor verdere ontwikkeling. Dit wordt onder andere meegenomen in twee Interreg voorstellen waar momenteel aan wordt gewerkt, ook weer met Vlaamse en Nederlandse partners. Daarnaast vindt er nog 2 jaar onderzoek en ontwikkeling plaats bij de HVCH-pilot.

Er is binnen het project veel kennis en ervaring opgedaan die ook van waarde zijn voor de vervolprojecten. De volgende aanbevelingen worden meegegeven:

- Een aantal technieken heeft baat bij het grootschaliger en/of langer testen hiervan. Voorbeelden zijn het IOCS-filter en de eendenkroosvijver. De Phytoparking, de RO-installatie, en het wilgenfilter behoeven nog verdere ontwikkeling voordat deze breed toegepast kunnen worden in het buitengebied.
- Lang niet alle ervaringen en lessons learned zijn tijdens het project goed gedocumenteerd, waardoor waardevolle inzichten verloren dreigen te raken. De opgedane inzichten van verschillende pilots waren

alleen bekend bij de betrokken partners, en kon achteraf alleen mondeling achterhaald worden. Bij HVCH was hier wel veel aandacht aan besteed. Dit werd tijdens het opstellen van de verschillende eindrapportages duidelijk. Informatie over het doorlopen proces, onderbouwing van beslissingen en lessen voor de toekomst waren snel te achterhalen uit verschillende notities en rapporten. Aanbevolen wordt om bij vervolgprojecten het proces (o.a. lessons learned en beslismomenten) goed te documenteren.

- De stap van ontwerp naar realisatie is cruciaal. Er zijn in de praktijk altijd onvoorziene omstandigheden bij opstart, zoals een samenstelling en hoeveelheid afvalwater die anders is dan geschat, vorstschade, verandering van personeel en onvoorziene gebeurtenissen. Aanbevolen wordt om deze stap bij het ontwerp van het project expliciet op te nemen zodat er ruimte ontstaat om gedurende het proces op de onvoorziene omstandigheden te reageren.
- De aanbestedingsregels en duurzaamheidseisen zoals gesteld door Interreg zijn begrijpelijk, maar bleken ook een beperking voor het testen van innovatieve projecten. Het mislukken van projecten en de noodzaak om te kunnen anticiperen op nieuwe ontwikkelingen is inherent aan innovatieve ontwikkel- en demonstratieprojecten. De aanbestedingsregels en duurzaamheidseisen werkten dit bij verschillende pilots in het I-QUA project, tegen.

Inhoudsopgave

Colofon.....	2
Samenvatting.....	3
1 Inleiding.....	10
1.1 Afvalwater in het buitengebied	10
1.1 I-QUA project	10
1.2 Projectpartners & doelgroepen	11
1.2.1 Projectpartners	11
1.2.2 Actief betrokken doelgroepen en taakverdeling	11
1.3 Werkpakketten	12
1.4 Grensoverschrijdende meerwaarde	13
1.2 Dit rapport.....	13
2 Mobiel Rietveld (ECOZmobile)	15
2.1 Toelichting pilot	15
2.2 Situering.....	16
2.3 Wettelijke kaders	16
2.3.1 Grenswaarden voor lozing.....	16
2.3.2 Hergebruik van water uit afvalwaterstromen	16
2.4 Technologiekeuze	16
2.5 Pilot opzet	17
2.5.1 Algemene procesbeschrijving ECOZ® mobile	17
2.5.2 Membraan gebaseerde drinkwaterinstallatie	18
2.6 Monitoringsprogramma.....	18
2.7 Evaluatie en resultaten	19
2.7.1 Initiële test: grijswater en grijswater gecombineerd met zwartwater bij festivals	19
2.7.2 Challengetesten voor onderzoek naar de optimale belasting bij behandeling grijswater	21
2.7.3 Prestatietesten onder optimale omstandigheden.....	22
2.7.4 Drinkwaterproductie bij het Dranouter Festival.....	23
2.8 Onderhoud & kosten	24
2.9 Reflectie en leerpunten	25
2.10 Conclusies en vervolg.....	27
2.10.1 Toekomst	27
3 Gust'Eaux (Kuurne).....	28
3.1 Toelichting pilot	28
3.2 Situering.....	28
3.3 Wettelijke kaders	29
3.3.1 Grenswaarden voor lozing.....	29
3.3.2 Hergebruik van water uit afvalwaterstromen	30
3.4 Technologiekeuze	30
3.4.1 Oplossingsmogelijkheden	30
3.4.2 Definitieve technologiekeuze en onderbouwing.....	31
3.5 Pilot opzet	32

3.5.1	Algemene uitgangspunten.....	32
3.5.2	Algemene procesbeschrijving	32
3.5.3	Afvalwaterzuivering met een helofytenfilter (VFCW).....	33
3.5.4	Membraan gebaseerde drinkwaterinstallatie	34
3.6	Monitoringsprogramma.....	35
3.7	Evaluatie en resultaten	37
3.7.1	Afvalwaterkarakteristiek.....	37
3.7.2	Zuiveringsrendementen bij de helofytenfilter.....	38
3.7.3	Prestaties van drinkwaterproductiesysteem	40
3.8	Onderhoud & kosten	41
3.9	Reflectie en leerpunten	42
3.10	Conclusies en vervolg.....	43
3.10.1	Toekomst	44
4	Biologische geitenboerderij (Lochristi)	45
4.1	Toelichting pilot	45
4.2	Situering.....	45
4.3	Wettelijke kaders.....	46
4.3.1	Grenswaarden voor lozing.....	46
4.4	Technologiekeuze	47
4.4.1	Oplossingsrichtingen.....	47
4.4.2	Definitieve technologiekeuze en onderbouwing.....	48
4.5	Pilot opzet	49
4.5.1	Algemene procesbeschrijving constructed wetlands	49
4.5.2	Algemene procesbeschrijving complementaire filtersystemen	50
4.6	Monitoringsprogramma.....	51
4.7	Evaluatie en resultaten	52
4.7.1	Afvalwaterkarakteristieken.....	52
4.7.2	Complementaire filtersystemen	52
4.8	Onderhoud & kosten	53
4.9	Reflectie en leerpunten	53
4.10	Conclusies en vervolg.....	54
4.10.1	Toekomst	55
5	Voetbalvereniging HVCH (Heesch)	56
5.1	Toelichting pilot	56
5.1.1	Verschil in pilotontwerp en pilotaanleg.....	56
5.2	Situering.....	57
5.3	Wettelijke kaders.....	58
5.3.1	Doelstelling effluentkwaliteit.....	59
5.3.2	Hergebruik van grondstoffen uit afvalwaterstromen (urine).....	60
5.3.3	Omgevingsvergunning	60
5.4	Technologiekeuze	61
5.4.1	Oplossingsrichtingen.....	61
5.4.2	Definitieve technologiekeuze en onderbouwing.....	63
5.5	Pilot opzet	65

5.5.1	Algemene uitgangspunten.....	65
5.5.2	Algemene procesbeschrijving	65
5.5.3	MBR.....	67
5.5.4	Ozon	69
5.5.5	Phytoparking.....	70
5.6	Monitoringsprogramma.....	71
5.7	Evaluatie en resultaten	72
5.7.1	MBR.....	72
5.7.2	Urine	75
5.7.3	Phytoparking.....	77
5.8	Onderhoud & kosten	80
5.9	Reflectie en leerpunten	80
5.10	Conclusies en vervolg.....	82
5.10.1	Toekomst	83
6	Carwash (Gilze-Rijen)	84
6.1	Toelichting pilot	84
6.2	Situering.....	84
6.3	Wettelijke kaders	84
6.3.1	Effluentkwaliteit voor hergebruik.....	85
6.3.2	Grenswaarden voor lozing.....	86
6.4	Technologiekeuze	87
6.4.1	Oplossingsrichtingen.....	87
6.4.2	Definitieve technologie keuze en onderbouwing.....	89
6.5	Pilot opzet	90
6.5.1	Algemene uitgangspunten.....	90
6.5.2	Algemene procesbeschrijving	91
6.5.3	Doekenfilter	92
6.5.4	Kaarsenfilters	92
6.5.5	RO-installatie.....	93
6.5.6	UV-installatie.....	94
6.6	Monitoringsprogramma.....	94
6.7	Evaluatie en resultaten	94
6.8	Onderhoud & kosten	99
6.9	Reflectie en leerpunten	100
6.10	Conclusies en vervolg.....	101
6.10.1	Toekomst	102
7	Pukkemuk (Dongen)	103
7.1	Toelichting pilot	103
7.2	Situering.....	103
7.3	Wettelijke kaders	104
7.3.1	Effluent voor hergebruik.....	104
7.3.2	Grenswaarden voor lozing.....	105
7.4	Technologiekeuze	106
7.4.1	Oplossingsrichtingen.....	106

7.4.2	Definitieve technologie keuze en onderbouwing.....	106
7.5	Pilot opzet	107
7.5.1	Algemene uitgangspunten.....	107
7.5.2	Algemene procesbeschrijving	107
7.5.3	Wilgenfilter	108
7.5.4	Nanofilter	110
7.5.5	UV-filter.....	110
7.5.6	Infiltratievoorziening.....	110
7.6	Monitoringsprogramma.....	111
7.7	Evaluatie en resultaten	111
7.8	Onderhoud & kosten	111
7.9	Reflectie en leerpunten	111
7.10	Conclusies en vervolg.....	112
7.10.1	Toekomst	112
8	Technisch afwegingskader	113
8.1	Doelstelling technisch afwegingskader.....	113
8.2	Plan van aanpak afwegingskader.....	114
8.2.1	Stap 1: In kaart brengen afvalwaterkarakteristieken, randvoorwaarden en beoogde zuivering....	114
8.2.2	Stap 2: Mogelijke oplossingsrichtingen – Longlist	115
8.2.3	Stap 3: Concrete technologiekeuze – Short list	116
8.2.4	Stap 4: Uitvoeren en bouwen	117
8.2.5	Stap 5: Opvolging en onderhoud	118
8.2.6	Stap 6: Demonstratie behandelingsinstallatie	118
8.3	Uitzonderingen	119
8.4	Conclusie	120
9	Algemene conclusie.....	121
10	Referenties	124
10.1	Hyperlinks	127
	Bijlage 1: MCA scores technologieselectie HVCH	128
	Bijlage 2: Uitgangspunten afvalwaterhoeveelheden HVCH	131
	Uitgangspunten HVCH-pilot, berekend door UGent	131
	Herberekening uitgangspunten HVCH	133
	Uitgangspunten woningen	137
	Afvalwaterpieken.....	137
	Bijlage 3: MCA scores technologieselectie Carwash Gilze-Rijen	139
	Bijlage 4: Uitgebreid Stappenplan	142

1 Inleiding

1.1 Afvalwater in het buitengebied

Afvalwater in het buitengebied is een onderwerp dat bij steeds meer gemeenten en waterschappen, in zowel Nederland als Vlaanderen, op de agenda komt te staan. Op veel locaties in het buitengebied ligt een mechanisch rioolstelsel (zowel vacuüm- als persriolering) dat op bepaalde plekken aan haar maximale capaciteit zit of aan vervanging toe is. Ook vinden er veranderingen van functies plaats in het buitengebied waardoor de samenstelling en hoeveelheden af te voeren afvalwater op specifieke locaties in korte tijd kunnen veranderen. Tevens is er een grote drive voor een doelmatige omgang met het afvalwater in het buitengebied. Ten grondslag hieraan liggen het waarborgen van de volksgezondheid en de omgevingskwaliteit. Er is dus behoefte aan doelmatige alternatieven voor de huidige omgang met het afvalwater in het buitengebied (afvoer met mechanische riolering). Om alternatieve afvalwatertechnologieën toe te kunnen passen moet eerste kennis en ervaring worden opgedaan met het installeren en gebruiken hiervan.

In Nederland spelen de vervangingsopgave van rioleringen en bijbehorende kosten een belangrijke rol, in combinatie met ontwikkelingen in het buitengebied waar de huidige mechanische rioolstelsels niet op zijn ontworpen. Deze ontwikkelingen, zoals de toename van mini-campings en nieuwe onderkomens voor seizoenarbeiders, produceren grote hoeveelheden afvalwater op piekmomenten. Op deze pieken is het rioolstelsel vaak niet ontworpen, met als gevolg dat ofwel het riool dient te worden vergroot of het afvalwater op een andere manier moet worden afgevoerd en/of behandeld. Verder tonen recente studies aan dat de jaarlijkse kosten van riolering in het buitengebied vele malen hoger zijn dan de kosten van riolering in de kernen. Het totaalbedrag aan kapitaallasten voor deze riolering in het buitengebied bedraagt momenteel ca € 155 miljoen. Bij mechanische riolering bedragen de kosten (incl. investeringen en afschrijvingen) per aansluiting in buitengebied ca € 732 per jaar, terwijl in stedelijk gebied dit gemiddeld slechts € 170 is. Daarbij komt ook dat er in de jaren '80 en '90 grootschalig is geïnvesteerd in de aanleg van drukriolering in het buitengebied. Dit is nu op veel plaatsen aan vervanging toe. Deze vervangingsopgave gaat gepaard met hoge investeringskosten.

In Vlaanderen is ten doel gesteld om de zuiveringsgraad (percentage van inwoners waarvan het afvalwater na transport effectief gezuiverd wordt) te verhogen naar 98% met een rioolstelsel of lokale zuivering. Om die reden is de laatste jaren fors geïnvesteerd in de uitbreiding van afvalwaterzuiveringen, waarvan de grootste uitdaging is om de kleinere en meer afgelegen woonkernen te voorzien van afvalwaterzuivering. De kosten voor het aanleggen van riolering op deze plekken zijn echter zeer hoog, waardoor gezocht moet worden naar alternatieven.

Nederland en Vlaanderen staan beiden voor een aantal beslissingen over hoe om te gaan met afvalwater in het buitengebied. Om hier gezamenlijk antwoorden voor te vinden is in 2015 het I-QUA project opgezet.

1.1 I-QUA project

In het I-QUA project¹ zijn, in samenwerking met overheden en bedrijven in Noord-Brabant en Vlaanderen, diverse innovatieve decentrale afvalwatersystemen (inzameling, zuivering, in lokale watersysteem brengen en/of hergebruik) op verschillende locaties getest in pilotprojecten. Het project is medegefinancierd door Interreg

¹ <https://www.i-qua.eu/>

Vlaanderen-Nederland en gecoördineerd door gemeente Bernheze. Het doel van I-QUA (“I” staat voor innovatie, intelligentie en interactie en “Qua” voor kwalitatieve oplossingen ten behoeve van afvalwatervoorzieningen) is om kennis en ervaring op te doen met nieuwe afvalwaterzuiveringstechnologieën voor het buitengebied die het milieu beschermen en terugwinnen van grondstoffen mogelijk maken. De industriële toepasbaarheid is een belangrijk aandachtspunt, zodat toekomstige grootschalige uitrol van de nieuwe afvalwaterzuiveringstechnologieën mogelijk is.

I-QUA draagt bij aan de volgende gedefinieerde subdoelstellingen:

1. Het experimenteel ontwikkelen, testen, monitoren en demonstreren van innovatieve afvalwatervoorzieningen op verschillende locatietypes in het buitengebied. Het gaat daarbij om bedrijven in de agrarische sector, recreatie, horeca, festivals en sport.
2. Het experimenteel ontwikkelen van kennis en deze kennis verspreiden naar relevante partijen binnen en buiten het partnerschap.
3. Het ontwikkelen van een structureel besluitvormingsproces voor de inzet van (innovatieve) afvalwatervoorzieningssystemen in het buitengebied.
4. Het vergroten van het draagvlak bij gebruikers (bewoners en bedrijven) en afnemers (gemeenten en provincies) en leveranciers voor respectievelijk het gebruik, het aanleggen en ontwikkelen van innovatieve afvalwatervoorzieningen in het buitengebied.

Door het project zijn 6 pilots ontwikkeld, opgezet en in verschillende mate gemonitord, waarbij verschillende technologieën op diverse soorten afvalwaterstromen zijn getest.

In Vlaanderen zijn de volgende 3 pilots uitgevoerd:

- Mobiel rietveld op 4 festivals in Vlaanderen;
- Restaurant Gust’Eaux in Kuurne;
- Biologische geitenboerderij in Lochristi

In Nederland zijn de volgende 3 pilots uitgevoerd:

- Voetbalvereniging HVCH in Heesch
- Carwash in Gilze-Rijen
- Recreatieboerderij Pukkemuk in Dongen.

1.2 Projectpartners & doelgroepen

1.2.1 Projectpartners

- **Onderzoeks- en kennisinstellingen:** Universiteit Gent (LIWET), VITO met uitvoering/projectopvolging door onafhankelijke afdeling Vlakwa (Vlaams Kenniscentrum Water)
- **Overheden en publieke instellingen:** Gemeente Bernheze, Gemeente Gilze-Rijen, Provincie West-Vlaanderen en Aquafin
- **Technologiepartners:** Ecobeton Water Technologies, Tuincreatie Wouter Igodt (HelloWater)
- **Andere:** recreatiepark Pukkemuk

1.2.2 Actief betrokken doelgroepen en taakverdeling

Verschillende organisaties hebben actief bijgedragen aan het I-QUA project: Horeca Vlaanderen, Vlario (Overlegplatform- en kenniscentrum voor rioleringen- en afvalwaterzuiveringssector in Vlaanderen), Rioned

(koepelorganisatie voor stedelijk waterbeheer en riolering in Nederland), STOWA (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer/Nederlandse koepelorganisatie voor onderzoek naar oppervlaktewater, afvalwater, grondwater en waterkeringen), ZLTO (Zuidelijke Land- en Tuinbouworganisatie) en anderen.

Ruwweg gezegd was de taakverdeling als volgt:

- Lokale overheden hebben in dit project een testlocatie en financiering ter beschikking gesteld, om een al dan niet bestaande afvalwatervoorziening te upgraden of te vervangen door een experimentele innovatieve voorziening die gericht is op één van de drie focusgebieden.
- De projectpartners hebben gezamenlijk onderzocht welke experimentele waterbehandelingstechnieken toegepast moeten worden op de testlocaties, dit in samenspraak met ingehuurde externe expertise of ter beschikking gestelde grensoverschrijdende expertise via de experts tijdens de georganiseerde 'expertmeetings'.
- De selectie om tot de best geschikte innovatieve oplossing(en) te komen per locatie, werd bereikt door het maken en afwegen van een 'Longlist' en vervolgens 'Shortlist' van technologieën (WP3). De Longlist bestaat uit een lijst van waterzuiveringstoepassingen voor het buitengebied, waarbij kritische commentaar werd bijgegeven. De trekkers van deze Longlist waren: UGent, Aquafin, Vlakwa/VITO en Gemeente Bernheze. Vervolgens werd per case een Shortlist en afwegingskader gemaakt van de oplossingsmogelijkheden om daarna de meest geschikte technologie te implementeren en monitoren, zoals omschreven in WP4 en 5.

1.3 Werkpakketten

Het project was verdeeld in vier hoofdwerkpakketten, samengevat in Tabel 1-1.

Tabel 1-1 Werkpakketten van I-QUA

Werkpakket	Beschrijving
WP1. Projectmanagement	Project Management Team (PMT) Project Kern Team (PKT) Project Coördinatie Groep (PCG) Lokale Management Teams (LMT) Communicatiewerkgroep (CDWG)
WP2. Communicatieactiviteiten	PR- en Communicatieverplichtingen Het ontwikkelen en leveren van een aantal projectcommunicatie ondersteunende middelen Lokale communicatieactiviteiten/communicatie op partnerniveau Het opzetten van evenementen/activiteiten om maximale kennisoverdracht naar de doelgroepen te realiseren Het ontwikkelen van een persbeleid
WP3. Kennisontwikkeling	Onderzoek mogelijke alternatieve, decentrale afvalwatervoorzieningen Het selecteren van een te realiseren innovatieve, decentrale afvalwatervoorziening per testlocatie Monitoring en ontwikkelen afwegingskader innovatieve voorzieningen buitengebied Interactieve resultatenmeeting m.b.t. decentrale afvalwatervoorziening gericht op resp. water- en energiebesparing/-recuperatie en recuperatie van grondstoffen/ Nutriënten
WP4. Innovaties waterrecuperatie	Case carwash, Gilze-Rijen (NL) Case restaurant Gust'Eaux, Kuurne (BE) Case mobiele zuiveringsinstallatie met plantenzuivering Case Pukkemuk, Dongen (NL)
WP5. Innovaties terugwinnen van grondstoffen (energie en nutriënten)	Case voetbalvereniging HVCH, Bernheze (NL) Case biologische geitenboerderij Lochristi (BE)

1.4 Grensoverschrijdende meerwaarde

Zowel Nederland als Vlaanderen staan de komende decennia voor een grote opgave ten aanzien van het vervangen en aanleggen van afvalwatervoorzieningen in het buitengebied. Aan beide zijden van de grens wordt daarom gezocht naar innovatieve en duurzame toepassingen voor het volbrengen van deze opgave. Doordat er in het verleden in Vlaanderen en Nederland gekozen werd voor een andere aanpak van de afvalwaterproblematiek in het buitengebied is er een groot potentieel voor kennis- en ervaringsuitwisseling. Het Vlaamse buitengebied werd in beperktere mate aangesloten op (mechanische) riolering, terwijl dit in Nederlands groots is uitgerold. In Vlaanderen is er daardoor meer kennis en ervaring met het inzetten van diverse kleinere decentrale voorzieningen voor afvalwaterzuivering. Zo zijn (beluchte) percolatierietvelden (helofytenfilters) in Nederland bijna niet te vinden, laat staan verticale helofytenfilters (muurtuinen). Bedrijven in Vlaanderen zijn aan het experimenteren met zuivering van grijs- en zwartwater door middel van muurtuinen, met ondertussen al meerdere demo's en realisaties. Nederland heeft daarentegen meer ervaring met het grootschalig aanleggen en onderhoud van riolering in het buitengebied.

Om de grensoverschrijdende meerwaarde ten volle te benutten, zijn in dit project kennis- en onderzoekinstellingen, overlegfora, MKB/KMO-bedrijven en gemeenten/provincies aan beide zijden van de grens nauw gaan samenwerken. Dat deden ze op vlak van kennisontwikkeling (WP3), uitwerking van test- en demonstratieprojecten (WP 4 en WP 5) en communicatie en disseminatie (WP2). Hierbij is samengewerkt met de STOWA, die een onafhankelijke website ([Saniwijzer](#)) heeft ontwikkeld om kennis over dit onderwerp te verzamelen en te delen. Deel van de Saniwijzer is de Sanimonitor, een database met monitoringsresultaten van verschillende projecten in het buitengebied. Om vergelijking mogelijk te maken tussen projecten, concepten en technologieën werd een landelijk monitoringsplan opgesteld voor decentrale demonstratieprojecten. De gemaakte afspraken en aanpak zijn in het I-QUA project meegenomen om zo tot heel relevante informatie te komen met betrekking tot de verschillende ingezette technologieën en bijgevolg vergelijking mogelijk te maken. De testlocaties binnen I-QUA werden gekozen op basis van hun grensoverschrijdende meerwaarde. Zowel in Vlaanderen als in Nederland zijn de resultaten van de cases, o.a. landbouw (geitenboerderij), carwash, horeca, enz. relevant. Bij het gezamenlijke vooronderzoek van de test- en demonstratielocaties hebben de Nederlandse en Vlaamse partners dan ook samengewerkt.

1.2 Dit rapport

Dit rapport beschrijft de opzet en resultaten van de pilots die zijn uitgevoerd binnen het I-QUA project. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen (technologische) informatie over de pilotlocaties, de doorlopen processen, monitoringsgegevens en geleerde lessen voor toekomstige projecten.

In de navolgende hoofdstukken wordt iedere pilot afzonderlijk beschreven. Hierbij wordt eerst de doelstelling en situering van de pilot, inclusief het wettelijk kader, beschreven. Vervolgens wordt de technologiekeuze en de uiteindelijk gebouwde pilot omschreven. Dan worden het monitoringsplan en de resultaten hiervan gerapporteerd. Ten slotte wordt afgesloten met een reflectie en leerpunten.

Het rapport sluit af met een beschrijving van het afwegingskader dat door UGent is ontwikkeld. De basis hiervan zijn de ervaringen die tijdens de verschillende pilots zijn opgedaan. Door het samen te vatten in een afwegingskader, kunnen deze ervaringen input bieden voor toekomstige projecten.

Vlaamse en Nederlandse auteurs hebben samengewerkt aan dit rapport. Dit is terug te zien in de (kleine) verschillen in vakterminologie. Gezien de grensoverschrijdende samenwerking is ervoor gekozen om het rapport ook zo, met deze verschillen, te presenteren.

2 Mobiel Rietveld (ECOZmobile)

2.1 Toelichting pilot

Jaarlijks worden er in het buitengebied honderden events georganiseerd met grote bezoekersaantallen, dit zowel in Vlaanderen als in Nederland. Op al deze events worden mobiele toiletten, eettentjes/foodtrucks, douches, etc. geplaatst die vaak gewoon op het oppervlaktewater lozen of waarvan het afvalwater afgevoerd wordt naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie. In Vlaanderen wordt beleidsmatig meer ingezet op het lokaal zuiveren ervan. Sinds enkele jaren werd dan ook in de Vlaamse wetgeving regelgeving opgenomen met betrekking tot 'Lozing van huishoudelijk afvalwater bij grootschalige evenementen'.

Vanuit milieutechnisch oogpunt bekeken, zou het mogelijks beter kunnen zijn om het afvalwater ter plaatse te zuiveren en indien mogelijk het effluent ter plaatse te recupereren. Een waterzuivering bouwen voor dergelijke events is echter een hele uitdaging, omdat er grote hoeveelheden afvalwater geproduceerd worden op een heel korte periode. De systemen dienen ook onmiddellijk optimaal te werken zonder inlooptijd en moeten grote debieten licht vervuild afvalwater aankunnen. Er worden ook grote hoeveelheden flessenwater aangevoerd en een lokaal hergebruikconcept zou het initieel waterverbruik kunnen beperken. We zoeken dus naar mobiele systemen die water en energie besparen en op korte termijn grote hoeveelheden water kunnen verwerken, wat niet evident is voor bestaande systemen. Wellicht zal de hele keten (watertoevoer, de toiletten/douches en de zuiveringssystemen) herbekeken moeten worden om die ambitie te kunnen realiseren.

Dergelijke concepten kunnen ook interessant zijn bij bedrijven die tijdelijk (of permanent na een uitbreiding) een grotere afvalwaterproductie hebben dan de bestaande zuivering of mechanische riolering aan kan en dus baat kunnen hebben bij een tijdelijke bedrijfszekere zuiveringsinstallatie. Voor deze situaties zou een snel inzetbare, energiezuinige, mobiele afvalwatervoorziening eveneens uitkomst kunnen bieden. Daarom is binnen dit project een dergelijke voorziening ontwikkeld, getest en gedemonstreerd worden.

Dit project is gestart vanuit de experimentele ontwikkeling van de technologische kennis van de partners (opgedane ervaring bij vaste helofytenfilters), aangevuld met wetenschappelijke kennis van de betrokken kennispartners om tot een mobiele zuiveringsunit te komen. Er zal getracht worden om een mobiel, op planten gebaseerd zuiveringssysteem te realiseren en de hele keten van wateraanvoer, toiletten, douches en zuivering optimaal op elkaar af te stemmen tot een totaalconcept. De pilootcontainer werd getest en gevalideerd, door de opstelling in te zetten op verschillende zomerfestivals tijdens de zomers van 2017 - 2021. Via lokale waterzuivering wordt gestreefd naar een waterhergebruikpercentage van 50 – 75 %.

Onderzoekperiode: 2017 – 2021

Toegepaste technieken:

- Mobiel plantenzuiveringssysteem
- Drinkwaterproductie via diverse filtratiestappen (microfiltratie, ultrafiltratie, reverse-osmosis, actieve koolfilter en LED-UV)

2.2 Situering

De mobiele afvalwaterzuiveringsinstallatie is gedurende 2017-2019 op verschillende festivals in Vlaanderen (België) getest. Het is ook ingezet in de zomer van 2020 bij een duurzaam kampeerinitiatief in Alden Biesen, georganiseerd door agentschap Natuur en Bos van de Vlaamse overheid, alsook in de zomer van 2021 bij festivals Paradise City en Cirque Magique.

2.3 Wettelijke kaders

2.3.1 Grenswaarden voor lozing

In Vlaanderen is in 2016 een wijziging in het Vlarem ingevoerd, die afvalwaterzuivering bij tijdelijke evenementen afdwingt. Voor het lozen van huishoudelijk afvalwater afkomstig van meer dan tien tijdelijke sanitaire installaties die geplaatst worden in openlucht bij een publiek toegankelijke inrichting, wordt het afvalwater minstens gezuiverd met een individuele behandelingsinstallatie waarvan de capaciteit is afgestemd op de aan te sluiten vuilvracht (VLAREM II, art 4.2.8.1.1 §4). Bovendien moet, rekening houdende met duurzaam evenementenbeheer (bijv. ISO 20121), afvalwater niet alleen worden gezuiverd voor lozing, maar kan het ook worden hergebruikt om de lokale impact van dergelijke tijdelijke evenementen te verminderen.

2.3.2 Hergebruik van water uit afvalwaterstromen

Voor de productie van levensmiddelen (ook B2C en dus restaurants) moet water van drinkwaterkwaliteit worden aangewend. Deze kwaliteit is vastgelegd in het koninklijk besluit en 'Omzendbrief betreffende de aanvraag van een vrijstelling met het oog op het gebruik van niet-drinkbaar water voor de fabricage of het in de handel brengen van levensmiddelen' van het Federaal Agentschap voor Veiligheid van de Voedselketen (FAVV).

2.4 Technologiekeuze

Mobiele afvalwaterzuiveringsinstallaties zijn vandaag de dag nog steeds nauwelijks te vinden. Hierbij is niet enkel de lokale behandeling van het afvalwater van belang, maar ook het lokaal hergebruiken van het behandelde water. Het is dus de bedoeling dat dit systeem voorzien wordt van een buffervat waarin het behandelde water komt, om vervolgens te hergebruiken als spoelwater voor de toiletten of verder kan gezuiverd worden tot drinkwaterkwaliteit. Op deze manier hoeft er geen water (of toch veel minder leidingwater en flessenwater) aangevoerd/verbruikt te worden en wordt de afvoer van afvalwater ook beperkt. Uit dit project werd het initiatief genomen om een vernieuwend concept uit te testen, namelijk een mobiele helofytenfilter (Tabel 2-1). De technologiekeuze voor deze case was opnieuw gebaseerd op een initiële inschatting bij de ontwerpfase van het project en reflecteert dus niet de finale beoordeling na afloop van het project. Expert knowledge en inschattingen en aannames die op dat moment beschikbaar waren werden gebruikt. De kennis van een vaste helofytenfilter werd gebruikt om tot een werkend installatie te bekomen. Bovendien kan deze mobiele installatie gebruikt worden om lokale actoren te overtuigen dat een energiezuinige zuiveringsinstallatie met planten kan voldoen aan hun eisen.

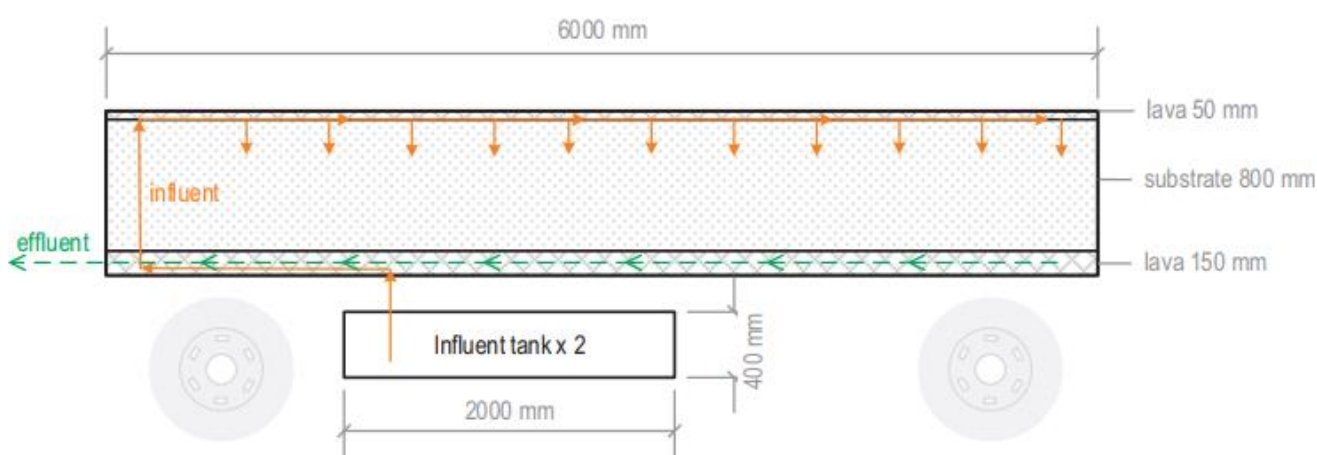
Tabel 2-1. Multicriteria-analyse mobiele zuivering met hergebruik afvalwater tot o.a. drinkwater - Per categorie worden punten gegeven van 0 tot 5, waarbij 5 een uitstekend resultaat betekent en 0 ongeschikt is. Het eindtotaal (op 30 punten) werd bekomen door de categorieën per technologie op te tellen. Deze analyse werd uitgevoerd in de ontwerpfase van het project en was op basis van inschattingen en aannames die op dat moment beschikbaar waren.

Onderverdeling hoofdpunten	Afvalwaterzuivering		Drinkwaterproductie	Systeem met granulaire filtratie (zand/actief kool)
	Mobiele Helofytenfilter	Actief slibstelsysteem	Membraan gebaseerd	
Investering	3	2	2	2
Onderhoud/bediening	4	3	2	3
Waterkwaliteit voor doel	3	3	4	2
Flexibiliteit	2	4	4	3
Robuustheid	3	3	3	3
Beeldvorming	4	3	3	3
Totaal	19	18	18	16

2.5 Pilot opzet

2.5.1 Algemene procesbeschrijving ECOZ® mobile

De ECOZ® mobile is een mobiel 'constructed wetland' (MCW) van het type vertical flow constructed wetland (VFCW) dat is ontworpen als een container. Het complete systeem zoals weergegeven in Figuur 2-1 heeft afmetingen van 6 × 2,5 × 1 m (L × B × D), wat overeenkomt met een oppervlakte van 15 m². Het substraat bestaat uit drie lagen, namelijk twee lagen lavasteen (8–16 mm) aan de onder- en bovenkant met hoogtes van respectievelijk 50 en 150 mm, en een eigen hoofdsustraata laag van 800 mm in het midden. De MCW is ontworpen om te voldoen aan de toegestane gewichtslimiet van 21 ton op de weg en 24 ton in stilstand of in werking.



Figuur 2-1. Schematische voorstelling van de MCW.

De trailer heeft aan elke kant twee aangesloten influenttanks (elk 120 L). Eén daarvan is uitgerust met een pomp (13,5 m³·h⁻¹) die wordt aangestuurd door een waterniveausensor, op basis van vooraf ingestelde waterniveaus. Dit zorgt voor de typische pulserende werking van VFCW's. Het bedrijfsregime van de influentpomp was hetzelfde voor alle bewakingsfasen. Er werden pompuren geregistreerd om de stroomsnelheden te bewaken. Na het pompen wordt het afvalwater via een netwerk van geperforeerde leidingen over het waterrijke oppervlak verdeeld. Bloemen (geraniums) werden geplant, meestal om esthetische redenen, maar ook omdat ze een uitgebreid

wortelstelsel hebben dat de groei van biofilm ondersteunt. Het behandelde water wordt uiteindelijk opgevangen via een afvoerleidingsysteem onderaan en stroomt naar een verzameltank (1 m³) voordat het wordt geloosd of verder wordt behandeld voor hergebruik. De uitvoering en ontwerp werden geleverd door HelloWater.

2.5.2 Membraan gebaseerde drinkwaterinstallatie

De drinkwaterproductie gebeurde met een drinkwaterinstallatie van BOSAQ. Ditmaal werd gebruik gemaakt van zonne-energie als energiebron, bij BOSAQ 'SolarAQ' genoemd. Het systeem is modulair en bestaat uit een ultrafiltratie (UF) membraan (PVDF 4,5 m² Polymem UF100L-S2F), werkend bij ±1 bar drukverschil met een debiet van ±150 L·h⁻¹, gekoppeld aan een omgekeerde osmose (RO) membraan (Filmtec BW2521) werkend bij ongeveer 4 bar voedingsdruk met een debiet van ±25 L·h⁻¹. Om het UF-RO-systeem te beschermen tegen verstopping en om sommige organische (micro)verontreinigingen te verwijderen, werd een microzeef (100 µm), een actief koolfilter en een tweede zeef (25 µm) voor het membraansysteem geplaatst. Het water werd na de RO geremineraliseerd en vier LED-UV-lampen (Aquisense, type Pearl Aqua micro 12 C) werden gebruikt voor desinfectie.

2.6 Monitoringsprogramma

De MCW is van 2017-2019 gemonitord op verschillende festivals in Vlaanderen (België), waarbij verschillende soorten afvalwater werden gezuiverd. Deze monitoringperioden kunnen als volgt in 3 fasen worden verdeeld, namelijk de initiële testen, challengetesten en prestatietesten (Tabel 2-2). Hoewel de MCW ook in 2020 en 2021 is ingezet, zijn er (door omstandigheden) geen meetacties vanuit I-QUA ondernomen en zullen ze bijgevolg niet verder besproken worden.

Tabel 2-2. MCW testen op verschillende types afvalwater, volume en bedrijfstijden.

	Locaties (jaar)	Type afvalwater	Behandeld volume (m ³)	Duur operatie (dag)
Initiële testen	Boomtown (2017)	Grijswater - Afwassen, douchen	2.4	5
	Dranouter (2018)		21	2
	Paradise City (2018)		3.8	3
	Dranouter (2017)	Grijswater + zwartwater	2.6	5
	Ieperfest (2017)	Toilet, afwassen, douche	9.3	4
	Ieperfest (2018)		4.0	1
Challengetesten	Harelbeke RWZI Aquafin (2018)	Onbehandeld afvalwater (grijswaterachtig)	30	4
Prestatietesten	Dranouter (2019)	Grijswater - douchen	92	3
	Paradise City (2019)	Grijswater - douchen	11	4

Set-up initiële testen

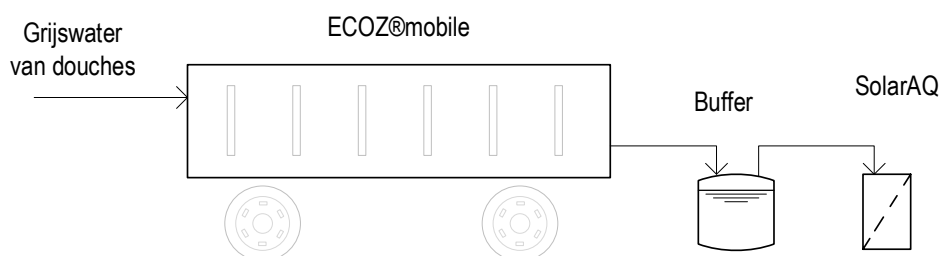
Het MCW werd tijdens de zomerfestivalperiodes van 2017 en 2018 gemonitord op 4 festivals in België: Boomtown in Gent, Dranouter festival in Heuveland, Paradise City in Perk en Ieperfest festival in Ieper. Een maand voor de festivals werd het MCW opgestart met voorbezonden huishoudelijk afvalwater om de micro-organismen in het substraat en op de plantenwortels te laten ontwikkelen. Meststoffen werden toegevoegd voor snellere plantengroei aangezien het visuele aspect als belangrijk werd beschouwd. Daartoe werden op de festivals water uit douches en foodtrucks (grijswater - GW) en toiletwater (zwartwater - ZW) vanuit een bezinktank van 1 m³ naar de influentcontainer van de MCW gepompt, en van daaruit naar het MCW. Eenmaal per dag werden er influent- en effluentmonsters verzameld tijdens de ochtendpiekstroom van 9.00 uur tot 11.00 uur.

Set-up challengetesten

Het MCW werd geïnstalleerd op de gemeentelijke afvalwaterzuiveringsinstallatie van Aquafin in Harelbeke (116.000 IE). Doordat de challengetesten in de winter werden uitgevoerd, was het afvalwater verdund met regenwater en had het een vergelijkbare samenstelling als GW. Het ruw afvalwater werd behandeld met roosters en doorliep de zandvang, waarna het werd opgevangen in een buffertank. Vervolgens werd dit afvalwater als influent voor het MCW gebruikt. Dit voorzuiveringsproces is nodig om verstoppingen bij het MCW te voorkomen. Het debiet werd systematisch verhoogd, namelijk 4, 8, 12 en 16 m³.d⁻¹. Per debiet werden twee steekmonsters van het influent en effluent genomen nadat het systeem zich had aangepast aan de nieuwe omstandigheden (verondersteld het geval te zijn na een verblijftijd van drie bedvolumes).

Set-up prestatietesten

Tijdens de zomerfestival periode van 2019 in Dranouter en Paradise City werd de prestatie van de MCW die GW behandelt verder beoordeeld. Wat de eerste tests betreft, was een voorafgaande opstartperiode van een maand voorzien. Het effluent van de MCW werd verder gezuiverd in het mobiele drinkwatersysteem, de SolarAQ van BOSAQ. Het waterzuiveringsproces tot drinkwater is schematisch weergegeven in Figuur 2-2. Eén keer per dag werden stalen genomen uit de influenttank van de MCW, de effluenttank (buffer) van de MCW en bij het effluent van het drinkwatersysteem.



Figuur 2-2. Schematische voorstelling van de MCW & SolarAQ.

2.7 Evaluatie en resultaten

2.7.1 Initiële test: grijswater en grijswater gecombineerd met zwartwater bij festivals

In de eerste testfase werden GW en ZW op verschillende festivals gebruikt als influent om de prestaties van het systeem te evalueren en een geschikt type afvalwater te selecteren. Tabel 2-3 geeft een overzicht van de kenmerken van het influent en het effluent, evenals de verwijderingsrendementen van de MCW. Merk op naargelang het type afvalwater dat gezuiverd werd, dat het gemiddelde van de resultaten van de betreffende festivals gebruikt werd. De gepresenteerde gegevens over GW zijn bijvoorbeeld gemiddeld uit Boomtown (2017), Dranouter (2018) en Paradise City (2018).

Tabel 2-3 Influent- en effluentkenmerken, evenals de verwijderingsrendementen van de MCW in de initiële ontwikkelingsfase bij behandeling van GW of GW + ZW. De kenmerken van elk type afvalwater zijn gemiddelde waarden van alle festivals.

	eenheid	Parameter	GW (Boomtown, Paradise city en Dranouter)						GW+ZW (Ieperfest)					
			Aantal monsters = 5						Aantal monsters = 5					
			TSS	CZV	BZV	TP	TKN	TN	TSS	CZV	BZV	TP	TKN	TN
Influent	mg.L ⁻¹	Gem.	76	395	150	3,3	40	40	603	3920	2733	23	28	28
		Std	13	131	26	1,6	16	16	253	1287	1004	13	7,7	7,7
		Max	90	470	180	5,5	55	56	900	5060	1280	6,1	18	18
		Min	59	200	120	1,8	18	18	223	1850	3530	36	37	37
Effluent	mg.L ⁻¹	Gem.	10	42	35	7,9	6	21	83	1058	683	17	18	76
		Std	10	8	4,2	3,7	2	11	24	686	630	6,0	13	99
		Max	21	51	24	12	8,6	29	105	1980	1540	24	38	233
		Min	3	35	09	5	5	8,1	42	350	200	11	3	3
Hydraulische belasting	m ³ .m ⁻² .d ⁻¹	Gem.	-	-	0,64	-	-	-	-	-	-	0,55	-	-
belasting	g.m ⁻² .d ⁻¹	Gem.	49	254	97	2	26	26	331	2151	1499	13	16	16
Verwijderings-snelheid	g.m ⁻² .d ⁻¹		42	227	46	-	22	13	285	1570	1125	3	6	-
Verwijdering	%	Gem.	86	89	76,7	-	84	49	86	73	75	25	37	-

TSS, CZV & BZV-verwijdering

De GW + ZW wordt gekenmerkt door veel hogere concentraties TSS, CZV, BZV en TP, maar vergelijkbare stikstofconcentraties ten opzichte van GW. Als gevolg hiervan is de organische belasting (OLR) naar de MCW met GW + ZW tot 20 keer hoger. Niettemin heeft het systeem vergelijkbare verwijderingsrendementen voor TSS en CZV. Voor TSS wordt 86 % verwijdering verkregen ondanks de grote verschillen in belasting (respectievelijk 42 en 285 gTSS.m⁻².d⁻¹ voor GW en GW + ZW). Bovendien heeft het systeem een verwijdering van 227 gCZV.m⁻².d⁻¹ bij een belasting van 254 gCZV.m⁻².d⁻¹ met GW, wat overeenkomt met 89 % verwijdering, terwijl het verwijderingspercentage voor GW + ZW was tot 1570 gCZV.m⁻².d⁻¹ bij een belasting van 2151 gCZV.m⁻².d⁻¹, wat overeenkomt met 73 % verwijdering. Zonder intensificatiemethoden (recycling, beluchting, ...), worden lagere belastingssnelheden doorgaans aanbevolen voor koude klimaten, dit wil zeggen OLR tot 30 gCZV.m⁻².d⁻¹ en HLR 0,05 - 0,10 m³.m⁻².d⁻¹. In warmere klimaten (of in zomerperiodes zoals hier het geval is) kunnen deze waarden worden verhoogd tot 80 gCZV.m⁻².d⁻¹ en 0,15 m³.m⁻².d⁻¹ (Dotro e.a., 2017).

Stikstofverwijdering

Met betrekking tot stikstofverwijdering presteerde het systeem veel beter bij het verwijderen van 'totaal kjeldahl stikstof' (TKN) uit GW met een verwijdering van 22 gTKN.m⁻².d⁻¹ (overeenkomend met 84 % verwijdering), vergeleken met slechts 6 gTKN.m⁻².d⁻¹ in GW + ZW (komt overeen met 37 % verwijdering). De stikstofverwijdering was laag voor GW + ZW vanwege de beperking van de zuurstofoverdracht in het filterbed terwijl het systeem overbelast was met hoge CZV en stikstof.

Algemene beoordeling

Ondanks een hoog verwijderingspercentage voor TSS, CZV en BZV, lagen alle effluentconcentraties van de behandeling van ZW + GW boven de wettelijke normen (Vlarem, 4.2.8.1.1. §4). Met het oog op het voldoen aan

deze normen, het bereiken van nutriëntenverwijdering en hergebruik van water, werd geconcludeerd dat de MCW naar verwachting een goede verwijderingsefficiëntie heeft bij GW en bijgevolg wel de lozingslimieten zou kunnen halen. Daarom werd besloten om de focus te leggen op de behandeling van GW bij festivals. Tijdens deze eerste testfase werd de MCW op verschillende festivals met verschillende belastingssnelheden gebruikt. Hierbij was het nodig om de optimale belasting voor een efficiënte werking te onderzoeken door middel van challengetesten.

2.7.2 Challengetesten voor onderzoek naar de optimale belasting bij behandeling grijswater

Omdat de optimale hydraulische- en organische belastingssnelheden (HLR en ORL) de belangrijkste factoren zijn bij de werking van VFCW's, werden vier verschillende HLR (en als gevolg daarvan vier verschillende OLR's) onderzocht. Het influent was afvalwater van een gecombineerd rioolstelsel (GW, ZW en regenwater). Doordat de experimenten in de winter werden uitgevoerd, deed de verdunning uit regenwater het influent erg lijken op GW dat afkomstig is van muziekfestivals. De resultaten met betrekking tot de gemiddelde karakteristieken van influent en effluent en de verwijderingsrendementen zijn weergegeven in Tabel 2-4.

De resultaten die in deze studie met de MCW zijn verkregen, laten ook een omgekeerde relatie zien tussen verwijdering en HLR. Hoewel hogere verwijderingsrendementen werden waargenomen voor bijna alle parameters bij lagere HLR (Tabel 2-4), werd een goede verwijdering van BZV en TSS voor alle HLR verkregen. Bovendien was de lagere CZV- en BZV-verwijdering bij de hoogste HLR ($1,1 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) ook het gevolg van de lage influentconcentratie. De BZV- en TSS-concentraties voldeden aan de lozingslimieten aangezien BZV minder was dan $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ en TSS minder dan $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ tijdens de experimenten. In de literatuur wordt aanbevolen dat de maximale HLR niet groter is dan $0,08 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ en dat het interval tussen belastingen ≥ 6 uur of tussen 3 en 6 uur moet zijn (Dotro, e.a., 2017). Toch werden hogere verwijderingsrendementen behaald met de MCW, waarschijnlijk omdat het systeem volledig was geoptimaliseerd en de planten voldoende volgroeid waren. Door de lage temperaturen (de experimenten zijn in de winter uitgevoerd bij temperaturen tussen 5 en $10 \text{ }^\circ\text{C}$) vond geen nitrificatie en dus ook geen stikstofverwijdering plaats. Ook vond er weinig tot geen P-verwijdering plaats. Studies suggereerden dat aangelegde wetlands beter presteren bij een temperatuur hoger dan $15 \text{ }^\circ\text{C}$ (Masi, e.a., 2007). Beter N- en P-verwijdering wordt verwacht tijdens de feitelijke werking van de MCW bij het zuiveren van afvalwater van muziekfestivals, aangezien deze in de zomer plaatsvinden. De resultaten die in Tabel 2-4 worden gepresenteerd, kunnen in vergelijking met de literatuur als goed worden beschouwd. Qua effluentkwaliteit werd verwacht dat de MCW zou werken met een HLR van $1,1 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. Deze HLR is veel hoger dan de waarden gevonden in de hierboven besproken literatuur ($0,06 - 0,24 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$).

Tabel 2-4. Resultaten van challengetesten voor het bepalen van de optimale belasting van de MCW (2 analyses per test).

HLR ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)		ZS			CZV			BZV		
		Concentratie ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	belasting ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	verwijdering (%)	Concentratie ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	belasting ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	verwijdering (%)	Concentratie ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	belasting ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	verwijdering (%)
0.3	inf	108	29	90%	444	118	91	289	77	98%
	eff	11			41			4,8		
0.5	inf	127	68	99%	139	74	80	173	92	96%
	eff	1,2			27			8		
0.8	inf	41	33	96%	201	160	87	171	137	97%
	eff	1			26			4,8		
1.1	inf	37	39	87%	77	82	43	57	61	79%
	eff	4,8			44			12		

2.7.3 Prestatietesten onder optimale omstandigheden

Tijdens de festivalperiode van 2019 werd op de festivals Paradise City en Dranouter in totaal 11 m³ en 92 m³ (afkomstig van meer dan 200 douches) afvalwater gezuiverd. De MCW werd 4 dagen werkende gehouden op het Paradise City festival en 3 dagen op het Dranouter festival. Het drinkwatersysteem werd op het festival Dranouter gekoppeld aan het MCW om de mogelijkheid van waterhergebruik te testen.

De gemiddelde karakteristieken van het influent en effluent, evenals de algehele prestatie van de MCW om gemeenschappelijke parameters te verwijderen, worden weergegeven in Tabel 2-5. Een efficiënte verwijdering van CZV, BZV, TN en TSS werd verkregen met een effluentconcentratie in het bereik van respectievelijk 40 mg.L⁻¹, 16 mg.L⁻¹, 34 mg.L⁻¹ en 6,7 mg.L⁻¹. Als zodanig heeft het systeem met succes TSS, BZV en CZV met meer dan 90% verminderd. De TN werd op festival Dranouter met 25 % verwijderd, omdat voornamelijk nitrificatie optrad, met nitraat in het effluent tot gevolg. TP-verwijdering was 51 % terwijl in de challengetesten geen TP-verwijdering werd waargenomen. De MCW presteerde erg goed en de lozingslimieten konden worden gehaald. Vergelijkbare resultaten werden gerapporteerd in de literatuur voor CZV, BZV en TSS tijdens de behandeling van grijswater met geïntegreerde HFCW in een verticale opstelling (Zraunig e.a., 2019).

Van de betrokken metalen waren de beste verwijderingsrendementen voor Cd, Cr, Pb, Zn en As (Tabel 2-5), waargenomen bij beide muziekfestivals. De negatieve waarden voor metalen (zoals Co en Ni) zijn mogelijks te wijten aan uitloging uit het substraat en ook aan variatie van het influent. Omdat de MCW water behandelde dat afkomstig was van een douche-installatie, werd de MCW ook getest op het verwijderen van anionische en kationische detergentia (de concentratie van niet-ionische detergentia was te laag (<0,2 mg.L⁻¹) om waar te nemen). Vooral voor het Dranouter festival (2019) was de verwijdering van anionische en niet-ionische detergentia zeer goed (> 90 %). In totaal is het afvalwater geanalyseerd op 9 microverontreinigingen. Voor de meeste microverontreinigingen waren de resultaten echter onder de detectielimiet, met uitzondering van 3 microverontreinigingen, zoals weergegeven in Tabel 2-5. Dit kan mogelijks worden verklaard door het feit dat bepaalde microverontreinigingen op de huid werden aangebracht (zoals diclofenac) en ook wat (ongewenst) plassen onder de douche (resultierend in antibiotica zoals trimethoprim gebruikt tegen bijvoorbeeld blaasontstekingen).

Er kan geconcludeerd worden dat de MCW zeer goed werkte om alle verontreinigingen inclusief metalen en microverontreinigingen te verwijderen en dat alle effluentconcentraties onder de Vlaamse wettelijke waarden lagen (Vlarem, 4.2.8.1.1. §4).

Tabel 2-5. Gemiddelde karakteristieken van influent en effluent tijdens de prestatietesten in Paradise City en Dranouter. De gemiddelden werden berekend als gemiddelde van verschillende gegevenspunten.

Parameters	Paradise City (4 dagen)						Dranouter (3 dagen)				
	Eenheid	Influent		Effluent		Verwijdering %	Influent		Effluent		Verwijdering %
		Gem.	std	Gem.	std		Gem.	std	Gem.	std	
pH	-	7,2	0,06	6,9	0,3		6,5	0,4	6,6	0,02	
Troebelheid	NTU	91	31	2,1	79	98	119	16	2,5	1,5	98
EC	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	905	138	1082	112		1123	30	1513	527	
DO	mg.L^{-1}	3,8	0,9	5,9	2		3,6	2,9	4,9	0,4	
ZS	mg.L^{-1}	83	33	2,7	2,9	97	137	32	6,7	3,5	95
UV-VIS	254 nm	0,05	0,04	0,01	0,01	71	0,14	0,09	0,03	0,02	81
CZV	mg.L^{-1}	440	254	43	12	90	417	70,9	40	2,1	90
BZV	mg.L^{-1}	320		35		89	355	21,2	16,3	6,6	95
TKN	mg.L^{-1}	55	10,5	8,8	3,2	84	45	4,5	18,3	7	59
TN	mg.L^{-1}	55	28	45	11	19	45	5,5	34	13	24
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	mg.L^{-1}	7,4	3,7	2	1,4	73	20	26	5,5	3,15	72
$\text{NO}_2^-\text{-N}$	mg.L^{-1}	0,4	0,5	4,5	3,9		0,02	0	4,7	2,6	
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	mg.L^{-1}	0,2	0,6	33	17	28	0,2	0	13	6,7	18
TP	mg.L^{-1}	7,1	2,1	1,7	0,1	76	4,3	0,5	2,1	0,2	51
$\text{PO}_4\text{-P}$	mg.L^{-1}	5,9	1,8	1,5	0,1	75	3,1	0,6	1,7	0,2	46
Metalen											
As	$\mu\text{g.L}^{-1}$	0,8	0,3	0,15	0,2	82	0,17	0,05	0,1	0,2	41
Cd	$\mu\text{g.L}^{-1}$	0,05	0,05	0,03	0,1	50	0,07	0,05	0	0,1	100
Co	$\mu\text{g.L}^{-1}$	0,1	0	0,32	0,09		0,23	0,11	0,7	0,3	
Cu	$\mu\text{g.L}^{-1}$	37,15	22,5	10,7	2,4	71	29,4	14,6	17,4	4,3	40,8
Hg	$\mu\text{g.L}^{-1}$		1,03		0,5	57		0,7		0,5	47,3
Ni	$\mu\text{g.L}^{-1}$	1,55	0,64	4,7	1,6		2,8	0,5	6,8	2,4	
Pb	$\mu\text{g.L}^{-1}$	12,7	2,9		2,8	104		2,3		2,1	64,5
Zn	$\mu\text{g.L}^{-1}$	30,4	24,7	18,5	11,2	39	116,9	54,9	49,6	19,9	57,6
Cr	$\mu\text{g.L}^{-1}$	0,65	1,17	0,78	1,07		0,96	1,1	0,03	0,2	96,8
Wasmiddelen											
Anionisch surfactans	mg.L^{-1}	16,5	8,5	0,3	0,1	98	25,3	7,5	0,2	0	99,2
Niet-ionisch surfactans	mg.L^{-1}	3,7	1,4	0,3	0	92	5,8	0,7	1,9	1	66,3
Micropolluenten (*)											
Diclofenac	$\mu\text{g.L}^{-1}$	NA	NA	NA	NA	NA	0,03		0,079		
Carbamazepine	$\mu\text{g.L}^{-1}$	NA	NA	NA	NA	NA	<0,01 0		0,013		

2.7.4 Drinkwaterproductie bij het Dranouter Festival

De mobiele drinkwaterproductie-eenheid werd geïnstalleerd om het effluent van de MCW te behandelen. Het doel was om drinkwater te produceren door in deze verdere stap in het proces, de mogelijks aanwezige schadelijke componenten (bv. metalen en organische microverontreinigingen) te verwijderen. De focus lag vooral op

stikstofcomponenten, omwille van de onvoldoende stikstofverwijdering in de MCW (ongeveer 25 %), het feit dat nitriet en ammonium als toxisch worden beschouwd, en omdat nitriet en ammonium kleine moleculen zijn die kunnen worden gebruikt voor RO-prestatiebeoordeling. De gegevens in Tabel 2-6 toont aan dat het geproduceerde water voldeed aan de normen voor drinkwater, aangezien de N-verwijdering zeer bevredigend bleek te zijn. Een ionenuitwisselingspatroon met gemengd bed na RO werd geïnstalleerd, die het nitriet verminderde van 4,8 mg.L⁻¹ tot minder dan 0,03 mg.L⁻¹, nitraat van 12,5 mg.L⁻¹ tot minder dan 2,0 mg.L⁻¹ en ammonium van 3,8 mg.L⁻¹ tot minder dan 0,2 mg.L⁻¹.

Tabel 2-6. Resultaten drinkwaterproductie bij Dranouter 2019.

Parameters	Eenheid	Effluent MCW	Drinkwater	Drinkwaternorm
EC	µS/cm	1513	56	2100
NH ₄ ⁺ -N	mg.L ⁻¹	5,5	<0,2	
NO ₂ ⁻ -N	mg.L ⁻¹	4,7	<0,03	0,1
NO ₃ ⁻ -N	mg.L ⁻¹	12,5	<2,0	50

Een LCA werd uitgevoerd waarbij de impact op het milieu werd vergeleken tussen het toepassen van de MCW op 400 m³ afvalwater waarvan 100 m³ verder werd gezuiverd tot drinkwater of enkel de behandeling met de MCW (400 m³ afvalwater) en PET flessen voor drinkwater (ook 100 m³). Uit de resultaten is gebleken dat het opwaarderen van het afvalwater tot drinkwater een lagere voetafdruk heeft op het milieu, vergeleken met het gebruik van PET flessen. Er dient dus gestreefd te worden naar dit concept en het transporteren van water (zijnde afvalwater of drinkbaar water) zoveel mogelijk te vermijden. Meer informatie hierover is terug te vinden in de paper van Lakho et al. (2021b).

2.8 Onderhoud & kosten

Extensieve plantenzuivering is laag in operationele kosten. Voor de MCW werden slechts 2 pompen gebruikt. Elk van de pompen had een capaciteit van 225 L.min⁻¹ en opgenomen vermogen van 0,75 kW. Het energieverbruik van het systeem in de pompputten wordt weergegeven in Tabel 2-7, alsook de energieverbruikskosten (bij 0,22 €/kWh) per festival. Hieruit kan besloten worden dat de operationele kosten van de pompen van de MCW (verwaarloosbaar) laag liggen.

Tabel 2-7. Energieverbruik van de MCW.

	Locaties (jaar)	Type afvalwater	Behandeld volume (m ³)	Energieverbruik (kWh)	Energieverbruik kosten (€)
Eerste test	Broomtown (2017)	Grijswater - Afwassen, douchen	2.4	0.3	0,07
	Dranouter (2018)		21	2.3	0,51
	Paradise City (2018)		3.8	0.4	0,09
	Dranouter (2017)	Grijswater + zwartwater	2.6	0.3	0,07
	Ieperfest (2017)	Toilet, afwassen, douche	9.3	1.0	0,22
	Ieperfest (2018)		4.0	0.4	0,07
Challengetesten	Harelbeke RWZI (2018)	Onbehandeld afvalwater (grijswaterachtig)	30	3.3	0,73
Prestatietest	Dranouter (2019)	Grijswater - douchen	92	10.2	2,24
	Paradise City (2019)		11	1.2	0,26

De investeringskosten voor het drinkwatersysteem werden niet bekeken omdat dit systeem (bewust) wat overgedimensioneerd was gezien het hier over een demonstratieproject ging en er geen risico voor de

volksgezondheid kon genomen worden. Andere kosten worden hier niet in rekening gebracht omdat daar op dit moment geen duidelijk beeld van is, maar het spreekt voor zich dat er in principe ook rekening moet gehouden worden met bijvoorbeeld analysekosten (in het bijzonder voor het opvolgen van de drinkwaterkwaliteit).

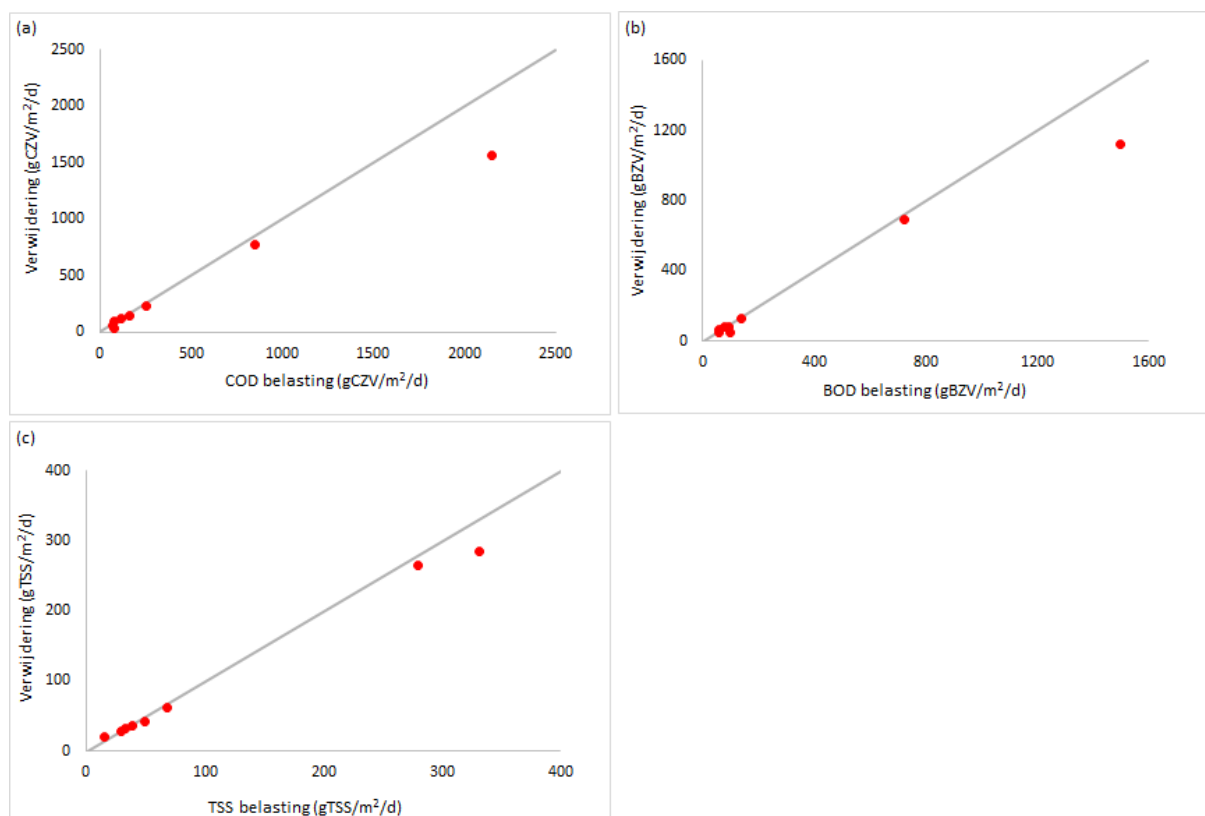
2.9 Reflectie en leerpunten

Er waren drie fasen in dit onderzoek, namelijk initiële testen, challengetesten en een prestatietest zoals hierboven beschreven. De resultaten van verschillende belastingsnelheden in al die fasen met betrekking tot hun verwijderingspercentages worden hieronder samengevat. Om te bepalen hoe effectief de MCW is bij de verschillende belastingen zal er worden vergeleken met VFCW uit de literatuur.

De CZV-verwijderingssnelheden bij verschillende toegepaste CZV-belastingen voor alle experimenten worden getoond in Figuur 2-3a, wat bevestigt dat het systeem ver boven de aanbevolen belasting werkte (zijnde $30 \text{ gCZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ in de winter en $80 \text{ gCZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ in zomerperiodes). In vergelijking met de literatuur werden inderdaad hoge CZV-verwijderingspercentages waargenomen. Gunes, (2007) behandelde huishoudelijk afvalwater met een VFCW met een belasting van $103 \text{ gCZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ en behaalde een verwijdering van $94 \text{ gCZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ (92% verwijdering). De Carvalho e.a. (2018) voerden een studie uit gedurende 6 maanden om huishoudelijk afvalwater te zuiveren, waarin een gemiddelde CZV-belasting van $38 \text{ gCZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ werd toegepast op een VFCW. Een verwijdering van 95 %, overeenkomend met een verwijdering van $36 \text{ gCZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ werd gevonden. Wang e.a. (2018) verminderde bovendien een influent CZV-concentratie van 142 mg.L^{-1} tot een effluentwaarde van 32 mg.L^{-1} , wat overeenkomt met een verwijdering van $28 \text{ gCZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ en 93 % verwijdering. Boutin e.a. (2015) observeerden een verwijderingsrendement van 56 % en 70 % voor hogere organische belastingen van respectievelijk $300 \text{ gCZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ en $75 \text{ gCZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$.

Figuur 2-3a toont dat de CZV-verwijdering lineair toenam met de belasting, behalve bij de hoogste belasting van $2151 \text{ gCZV m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ met een waargenomen verwijdering van $1570 \text{ gCZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. Aangezien een VFCW-systeem in principe niet de voldoende zuurstofoverdrachtsnelheden kan bereiken om een dergelijke hoge organische belasting aan te kunnen (Robert, e.a., 2008), wijst dit resultaat op anoxische/ anaerobe processen of waarschijnlijker op een tijdelijke opslag in de wetlandbedding.

De BZV-belasting voor alle experimenten wordt weergegeven in Figuur 2-3b. Het systeem werkte boven de BZV-belastingen die in de literatuur worden vermeld. Brix, e.a. (2005) en Prochaska e.a. (2007) pasten BZV-laadsnelheden toe in het bereik van respectievelijk $10 - 40 \text{ gBZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ en $20 - 40 \text{ gBZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. VFCW-systemen handhaven de stabiliteit van de behandelingsefficiëntie gedurende de monitoringperiode en bereiken verwijderingssnelheden van 4,3 tot 5,5 $\text{gBZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ voor toegepaste BZV-belasting van respectievelijk 5,1 tot 7,9 $\text{gBZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ bij relatief korte hydraulische verblijftijden van 3 en 4 dagen (Ghosh, e.a., 2010). Weerakoon, e.a. (2016) beoordeelde de prestaties van een VFCW voor een beplant en niet-beplant systeem, door verschillende belastingen toe te passen. Er werden verwijderingssnelheden gevonden van 8,3 $\text{gBZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ en 7,4 $\text{gBZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ voor respectievelijk beplant en niet-beplant systeem bij een toegepaste belasting van $9,8 \text{ gBZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. Bovendien waren de macrofyten (*T. angustifolia*) in staat hogere belastingen BZV, CZV en TSS te verwijderen. Papaevangelou, e.a. (2016) vonden optimale prestaties bij het gebruik van lisdodde als substraat in een VFCW en verkregen $57 \text{ gBZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ verwijdering bij een belasting van $70 \text{ gBZV.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. Vegetatie en temperatuur ($> 15^\circ \text{C}$) speelden een effectieve rol bij het verlagen van de effluentwaarden ondanks de hoge belasting.



Figuur 2-3. Samenvatting van de algemeen verkregen gegevens van belasting versus verwijdering van (a) CZV, (b) BZV en (c) TSS.

Ondanks de hogere belastingen, kan in Figuur 2-3b worden gezien dat de algehele BZV-verwijdering bij verschillende laadsnelheden zeer goed was, behalve de hoogste BZV-laadsnelheid van 1499 gBZV.m⁻².d⁻¹ die overeenkomt met een waargenomen BZV-verwijderingssnelheid van 1125 gBZV.m⁻².d⁻¹. De verwijdering van BZV vond bij voorkeur plaats in het bovenste gebied (bovenste 20 cm van het VF-bed), vanwege de hogere beschikbaarheid aan zuurstof en de aanwezigheid van microbiële biomassa. Over het algemeen zijn VFCW aanzienlijk effectiever in de afbraak van organisch materiaal (inclusief BZV), aangezien het belasting-en-rustprotocol voor dit type constructed wetlands de introductie van zuurstof rechtstreeks in de wetland-bodem mogelijk maakt (Robert, e.a., 2008).

In Figuur 2-3c worden TSS-belasting en verwijderingssnelheid, die werden verkregen uit de experimenten, samengevat. Wederom zijn de waarden verkregen door de MCW uit dit project, hoger dan de resultaten die in de literatuur worden gevonden. Bohórquez, e.a. (2017) beoordeelden de behandeling van huishoudelijk afvalwater door middel van acht pilot-schaal VFCW. Er werd een verwijderingssnelheid van 9 gTSS.m⁻².d⁻¹ verkregen, wat overeenkomt met een reductie van 85 %. Atalla et al. (2020) toont een hogere TSS-verwijdering aan van 19 gTSS.m⁻².d⁻¹ bij een laadsnelheid van 44 gTSS.m⁻².d⁻¹, voornamelijk als gevolg van de aanwezigheid van regenwormen in VFCW. Deze wormen droegen bij aan de verkleining van de organische en anorganische vaste deeltjes in het afvalwater.

Er wordt aangetoond dat VFCW's zeer effectief zijn bij het verwijderen van TSS. Hierbij dient opgemerkt te worden dat ze wel correct beheerd moeten worden, op een manier om verstoppingsproblemen van bedden te voorkomen, namelijk door middel van een belastings- en rustregime (Robert, e.a., 2008).

2.10 Conclusies en vervolg

Het idee rond een mobiele helofytenfilter kwam voort uit een vernieuwend concept van (Vlaamse) kennisinstaties en KMO's, in combinatie met verstrengingen van de Vlaamse normen voor afvalwaterlozing bij tijdelijke evenementen en een meer milieubewuste trend bij de festival organisatoren. De MCW pilot werd ontworpen bij de start van het I-QUA project, met testen om lozingswater van verschillende (muziek) festivals in Vlaanderen te zuiveren gedurende enkele zomers. Uit deze pilot testperiode bleek de behandelingsunit geschikt te zijn om grijswater te behandelen, aangezien aan de lozingslimieten werd voldaan. Bij de combinatie met zwartwater werd ook een relatief efficiënte behandeling van het systeem teruggevonden, maar werden de lozingsnormen niet volledig gehaald. In termen van verwijderingsefficiëntie was de mobiele helofytenfilter (Dranouter 2019) in staat om te werken met een hydraulische laadsnelheid tot $2 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ zonder enige vermindering van de effluentkwaliteit. Tijdens de prestatietest werd na optimalisatie een goede verwijdering van CZV, BZV, TSS, TN en TP waargenomen van respectievelijk 90%, 95%, 97%, 25% en 76%. Het drinkwaterbehandelingssysteem toonde een goede verwijdering van stikstofcomponenten, waardoor de normen voor drinkwaterkwaliteit werden gehaald. Dit betekent een groot potentieel voor hergebruik van drinkwater bij tijdelijke evenementen en festivals. Meer informatie is terug te vinden in Lakho et al. (2021b).

2.10.1 Toekomst

Vanwege de nadelige businesscase is uit de markt weinig tot geen interesse in het gebruik van deze installatie op evenementen. Vooralsnog is verdere inzet bij evenementen niet voorzien. De mobiele installatie is opgeslagen op het bedrijventerrein van Wouter Igodt Tuincreatie.

3 Gust'Eaux (Kuurne)

3.1 Toelichting pilot

Restaurant Gust'Eaux wil op zowel culinair als op milieuvlak de natuur als gids gebruiken. In deze context past lokaal waterhergebruik. Deze piloottest beoogt het combineren, uittesten en valideren van een lokaal gesloten waterkringloop, waarbij gemengd huishoudelijk afvalwater afkomstig van een restaurant wordt gezuiverd tot lozing en waterhergebruik mogelijk wordt. Het inzetten van gezuiverd afvalwater al dan niet gecombineerd met andere waterbronnen (hemelwater, leidingwater, enz.) binnen horecabedrijven is heel vernieuwend. Binnen dit project werd gestreefd om binnen een bereik van 30 – 60 % waterhergebruik te komen, waaronder ook deels de zuivering tot drinkbaar water, dat eventueel aan de klanten kan worden aangeboden. Het uiteindelijk percentage was echter veel hoger (> 90 %). Zowel in Vlaanderen als in Nederland zijn heel wat horecabedrijven in buitengebied gelegen. De sectororganisaties in beide gebieden gaven alvast hun steun en blijk van interesse om de opgedane kennis met betrekking tot deze case te verspreiden.

Onderzoekperiode: eind 2017 – eind 2020

Toegepaste technieken:

- Helofytenfilter
- Drinkwaterproductie via diverse filtratiestappen;
 - microfiltratie
 - ultrafiltratie
 - reverse-osmosis
 - ionenwisseling
 - actief koolfilter
 - LED-UV)

3.2 Situering

Restaurant Gust'Eaux is gelegen in Kuurne (België, 50.8417 °N, 3.2832 °E). Deze zaak ligt in het collectief te optimaliseren buitengebied (Figuur 3-1). Dit is volgens het Vlaams zoneringsplan het gebied waar er een riolering gepland is, of er is riolering aanwezig, maar die is nog niet aangesloten op een waterzuivering (VLAREM II, 1995). In geval van restaurant Gust'Eaux, zou er 300 m riolering moeten worden aangelegd om het bedrijf te connecteren op het rioolnetwerk gelegen bij een aanpalende woonwijk. Aangezien deze nog niet aanwezig is, is het verplicht om een septische put te plaatsen met een minimaal volume van 3 m³ (Alboort, 2016). Het is toegelaten, maar niet verplicht om een IBA te installeren (VLAREM II, 1995). Door de lage ligging van het restaurant en vanuit een duurzaamheidsvisie, werd er al gekozen om in afwachting het geproduceerde afvalwater individueel te zuiveren.

Het restaurant is 5 dagen per week geopend en kan 90-135 klanten per dag bedienen. Met de verwachte productie van afvalwater ten belope van ¼ inwonerequivalent per klant ($1/4 \times 150 = 37,5$ L), kan elke openingsdag van het restaurant theoretisch ongeveer 3-5 m³.d⁻¹ afvalwater worden gegenereerd uit toiletten en keuken, afhankelijk van het aantal klanten. Afvalwater uit de keuken stroomt eerst door twee vetvangsers (inhoud 2 x 1 m³) en komt daarna terecht in een septische tank (15 m³). Afvalwater uit de toiletten stroomt direct richting de septische tank.



Figuur 3-1. Horecazaak Gust'Eaux gelegen in collectief te optimaliseren buitengebied, net naast de Leie (Foto Gust'Eaux).

3.3 Wettelijke kaders

3.3.1 Grenswaarden voor lozing

In VLAREM II art. 6.9 en 6.2 staan de regels i.v.m. het lozen van gezuiverd huishoudelijk afvalwater afkomstig uit een IBA. Wanneer er binnen een straal van 50 m een oppervlaktewater of een kunstmatige afvoerweg voor regenwater aanwezig is, dan moet het effluent hierop aangesloten worden. Indien dit niet het geval is, kan het gezuiverd afvalwater geloosd worden via een besterfput. Het lozen in grondwater staat omschreven in art. 6.9.2. ('EMIS Navigator', 2021). Echter in deze casus ligt Gust'Eaux naast de Leie en kan er dus in oppervlaktewater geloosd worden. Bij het lozen in oppervlaktewater gelden algemene voorwaarden die opgenomen zijn in artikel 6.2.2.4 (bij ligging in het individueel te optimaliseren buitengebied).

In artikel 6.2.2.4 zijn de voorwaarden zijn als volgt ('EMIS Navigator', 2021):

- Het effluent mag geen zodanige hoeveelheden pathogene kiemen bevatten dat het ontvangende water er gevaarlijk door kan worden besmet;
- Voor pH is de norm 6,5 - 9
- Voor biochemisch zuurstofverbruik in vijf dagen bij 20 °C (BZV₅²⁰) is de norm 25 mgO₂.L⁻¹
- Voor zwevende stoffen (ZS) is de norm 60 mg.L⁻¹
- Voor BZV en ZS dient er respectievelijk minimaal 90% en 70% verwijdering bekomen te worden voor beide parameters
- Het effluent mag geen gevaarlijke stoffen bevatten opgenomen in VLAREM II bijlage 2C in concentraties die hoger zijn dan tien keer de indelingscriteria die vermeld zijn in artikel 3 van bijlage 2.3.1. Andere stoffen die rechtstreeks of onrechtstreeks schadelijk zouden kunnen zijn voor de gezondheid van de mens, voor de flora of fauna mogen ook niet aanwezig zijn
- Het effluent mag geen oliën, vetten of andere drijvende stoffen bevatten in zulke hoeveelheden dat een drijvende laag op ondubbelzinnige wijze kan vastgesteld worden
- Daarnaast moet de IBA lekvrij, structureel stabiel, duurzaam en corrosiebestendig zijn.

Bovendien geldt dat geacht wordt dat aan de bovenstaande voorwaarden wordt voldaan indien het water minstens wordt gezuiverd door middel van een IBA, waarvan de capaciteit is afgestemd op de verwachte hoeveelheid afvalwater. Het verwijderingspercentage van deze IBA bedraagt minimaal 90 % voor biochemisch zuurstofverbruik en minimaal 70 % voor zwevende stoffen.

Wanneer er een IBA is geïnstalleerd, kan er een vrijstelling worden gevraagd op de saneringsbijdrage aangerekend via de drinkwaterfactuur. Dit attest wordt aangevraagd bij de gemeente en afgeleverd aan de drinkwaterleverancier. Dit dient om de 5 jaar te gebeuren. De rioolbeheerder kan ook vragen de goede werking van de IBA aan te tonen met behulp van metingen uitgevoerd door een erkend lab. Wanneer er een IBA wordt geplaatst, is het mogelijk dat deze wordt beheerd door de rioolbeheerder. Deze instanties zullen dan instaan voor het opvolgen van de kwaliteit van het gezuiverde water. Wanneer een particulier zelf voor het beheer van de IBA instaat kan deze persoon zoals eerder vermeld om de 5 jaar een attest vragen aan de gemeente voor een vrijstelling van saneringsbijdragen. In dit geval kan de gemeente de goede werking van de installatie laten aantonen door het voorleggen van analyses (pH, BZV, ZS). In alle gevallen ligt de verantwoordelijkheid voor de goede werking van de IBA bij de eigenaar.

3.3.2 Hergebruik van water uit afvalwaterstromen

Voor de productie van levensmiddelen (ook B2C en dus restaurants) moet water van drinkwaterkwaliteit worden aangewend. Deze kwaliteit is vastgelegd in het koninklijk besluit en 'Omzendbrief betreffende de aanvraag van een vrijstelling met het oog op het gebruik van niet-drinkbaar water voor de fabricage of het in de handel brengen van levensmiddelen' van het Federaal Agentschap voor Veiligheid van de Voedselketen (FAVV).

3.4 Technologiekeuze

3.4.1 Oplossingsmogelijkheden

De belangrijkste vraag bij decentrale waterzuiveringssystemen is of deze wel voordeliger (kost, milieu-impact, etc.) zijn ten opzichte van connectie met de riolering. Zoals eerder besproken is de dichtstbijzijnde riolering aanwezig in een woonwijk 300 m van het restaurant. De kostprijs voor het aanleggen van een riolering in het buitengebied is 718 €/m (Vlaamse Milieumaatschappij, 2018). Dit is de prijs voor een druk- en persleiding, aangezien Gust'Eaux lager gelegen is dan de aanpalende wijk. Met deze gegevens wordt er een kostprijs verkregen van 215 400 € wanneer er een enkele riolering gelegd wordt, en 430 800 € indien een dubbele riolering (aparte opvang van afvalwater en regenwater) moet voorzien worden. Dit is enkel nog maar de kostprijs voor de riolering zelf. Hier moet er nog de kost bijgerekend worden voor de pomp, arbeidsuren, kosten voor het openbreken van de weg, etc. De totale kostprijs voor het aanleggen van de helofytenfilter bij Gust'Eaux was ± 125.000 € zonder studie- en tekenwerk en zonder opvolging van het systeem. De keuze om een IBA te installeren kan dus drie tot tien keer goedkoper zijn in vergelijking met de aanleg van een riolering (waarbij er enkel maar de kost voor de riolering in rekening werd gebracht).

Daarnaast werd ook een levenscyclusanalyse (LCA) uitgevoerd, waarbij de milieu-impact bij centrale en decentrale waterzuivering met waterrecuperatie voor deze pilot werd vergeleken. Daaruit bleek dat de decentrale optie milieuvriendelijker was, want er werd aangetoond dat indien meer dan 75 m riolering moet aangelegd worden (Gust'Eaux ligt 300 m van het bestaande rioolnetwerk), de milieu-impact kleiner is bij lokale zuivering (Lakho et al., 2021b). Gezien de ligging lijkt het dus interessant om het restaurant te voorzien van een lokale zuivering met

waterrecuperatie. Momenteel beschikt de locatie over 2 vetvangers in serie (2 x 1 m³) en een septische put van 15 m³. Een verdere behandeling van het afvalwater kan een naschakeling zijn van een helofytenfilter (Tabel 3-1). Bij het effluent van het helofytensysteem is er de mogelijkheid om het verder te zuiveren tot drinkwaterkwaliteit. Hierbij zijn een membraanfiltratiesysteem (eventueel inclusief nabehandeling met ionenwisseling of actieve kool) of zuivering op basis van een gecombineerde granulaire filtratie (zand en actief kool) geschikte technologieën. Dit water zou na vergaande zuivering aan de restaurantbezoekers als tafelwater kunnen aangeboden worden. Een verder aandachtspunt is het eventueel ontsmetten (met vb. UV-licht) van het water voor (laagwaardig) hergebruik. Regenwater kan een extra waterbron zijn en bijgemengd worden met het effluent van de helofytenfilter.

Tabel 3-1. Multicriteria-analyse Gust'Eaux - Per categorie worden punten gegeven van 0 tot 5, waarbij 5 een uitstekend resultaat betekent en 0 ongeschikt is. Het eindtotaal (op 30 punten) werd behaald door de categorieën per technologie op te tellen. Deze analyse werd uitgevoerd in de ontwerpfase van het project en was op basis van inschattingen en aannames die op dat moment beschikbaar waren.

Onderverdeling hoofdpunten	Afvalwaterzuivering			Drinkwaterproductie	
	Helofytenfilter	Membraan bioreactor	Actief slib	Membraan gebaseerd	Granulaire filtratie gebaseerd
Investering	3	2	2	2	2
Onderhoud/bediening	4	2	3	2	3
Waterkwaliteit voor doel	3	4	3	4	2
Flexibiliteit	2	3	4	4	3
Robuustheid	3	3	2	3	3
Beeldvorming	4	3	3	3	3
Totaal	19	17	17	18	16

3.4.2 Definitieve technologiekeuze en onderbouwing

De technologiekeuze is gebaseerd op een initiële inschatting bij de ontwerpfase van het project en reflecteert dus niet de eindbeoordeling na afloop van het project. Expert knowledge en inschattingen en aannames die op dat moment beschikbaar waren werden gebruikt.

Onderbouwing keuze Helofytenfilter

Er kunnen enkele argumenten aangehaald worden om de keuze voor een helofytenfilter meer te rechtvaardigen dan andere technieken, zoals een actiefslibstelsysteem. Als er zou gekozen worden om een actiefslibstelsysteem te installeren, zouden er hoge operationele kosten gegenereerd worden enkel voor de beluchting die er moet plaatsvinden. Voor lage capaciteiten stijgt de energie-intensiteit voor alle waterzuiveringsinstallaties (Paul, e.a., 2019). Omdat er maar een laag debiet verwerkt moet worden, is het interessanter om te kiezen voor een plantenfilter, die nauwelijks energie vraagt. Een actiefslibstelsysteem daarentegen, zal bij lage debieten een hogere energie-intensiteit hebben. Daarnaast heeft een plantenfilter minimale onderhoudsvereisten (Jácome, e.a., 2016). Doordat een actiefslibstelsysteem een actieve beluchting heeft, kan dit meer geluid produceren, wat niet gewenst is in de nabijheid van een restaurant. Er wordt geen geluid gegenereerd door de vaste helofytenfilter. Daarnaast zijn de investeringskosten, onderhoudskosten en operationele kosten veel hoger voor een actiefslibstelsysteem dan voor een plantenfilter (Hickey e.a., 2018). Tot slot is een plantenfilter esthetisch meer aan te raden dan een actiefslibstelsysteem. Sinds de helofytenfilter in de tuin geïnstalleerd staat, is het toch wel een element dat opvalt wanneer de klanten aan het restaurant toekomen. Een plantenfilter kan veel natuurlijker in de tuin geïntegreerd worden dan een actiefslibstelsysteem of een membraanbioreactor.

Als er gewerkt wordt met een oppervlakte van 2-4 m²/IE (IE: inwoners equivalent) en er maximaal 90*¼ = 22,5 IE zullen in beschouwing genomen worden, wordt een oppervlakte van 45-90 m² nodig geacht. Deze plaats is zeker beschikbaar. Bovendien kan een dergelijk systeem mooi ingewerkt worden in het landschap.

Onderbouwing keuze filtratiestappen voor drinkwaterproductie

Bijkomend werd er gekozen voor een membraan gebaseerd systeem, om het helofytenfilter effluent op te werken tot drinkwaterkwaliteit. Een voorbeeld van een dergelijk systeem is het systeem van BOSAQ (combinatie van UF en RO). Dergelijke systemen kunnen 200-4000 L/h leveren, wat zeker voldoende is voor deze toepassing.

3.5 Pilot opzet

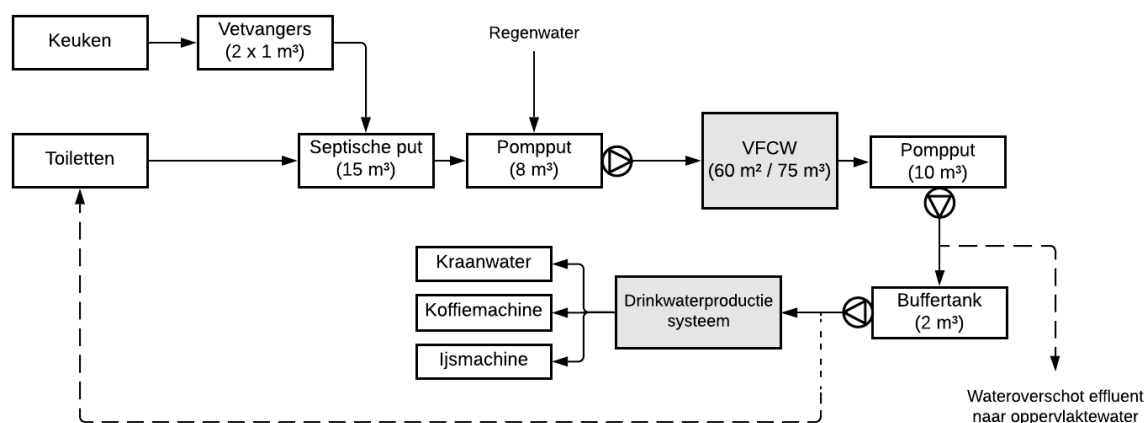
3.5.1 Algemene uitgangspunten

Restaurant Gust'Eaux werd opgericht tegelijkertijd met het I-QUA project, waardoor de bezoekersaantallen werden geschat. De hoeveelheid geproduceerd afvalwater per dag is sterk afhankelijk van het aantal bezoekers. Deze wordt geschat tussen de 90 en 135 personen, wat een dagelijkse afvalwaterproductie tussen de 3350 L (3,4 m³) en 5062 L (5 m³) oplevert. Dit is tevens een inschatting van het dagelijks benodigde leidingwater.

Het regenwater afkomstig van het dak van Gust'Eaux wordt rechtstreeks geïnfiltreerd in de bodem. Wel komt regenwater van naastgelegen gebouwen terecht in het waterzuiveringscircuit, omwille van oude leidingen die uitkomen bij de waterzuiveringsinstallatie. Het regenwater kan een aanvulling zijn op eventueel gerecupereerd afvalwater, maar kan wel het volledige verbruik niet dekken.

3.5.2 Algemene procesbeschrijving

Het systeem heeft twee hoofdbehandelingslijnen: een helofytenfilter voor de behandeling van het restaurantafvalwater dat in een septische tank wordt verzameld, en een membraansysteem om drinkbaar water te produceren uit het effluent van de helofytenfilter (Figuur 3-2).



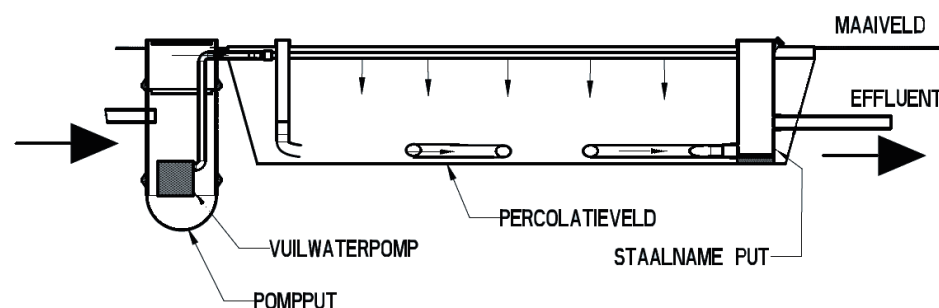
Figuur 3-2. Schematische opstelling van de behandelingstrein bij Gust'Eaux.

Ten eerste, stroomt het afvalwater van de keuken door twee vetvangers en komt vervolgens terecht in een septische put (15 m³), terwijl het afvalwater van de toiletten rechtstreeks naar de septische put stroomt. Dit afvalwater zal vermengd worden met regenwater (gemiddelde hoeveelheid van 0,6 m³.d⁻¹) in de buffertank, alvorens behandeld te worden met de helofytenfilter. De helofytenfilter werd ontwikkeld en aangelegd door HelloWater. In deze pilot gaat dit meer specifiek over een *vertical flow constructed wetland* (VFCW). Vervolgens komt het gezuiverde water terecht in een buffertank van 2 m³. Het gezuiverde water kan dan worden gebruikt voor toiletspoeling en voor de productie van drinkwater met behulp van een BOSAQ-membraansysteem. Dit water met drinkwaterkwaliteit kan vervolgens als tafelwater aan de klanten worden aangeboden.

3.5.3 Afvalwaterzuivering met een helofytenfilter (VFCW)

De VFCW is een extensieve IBA (Figuur 3-3), waarbij de zuivering plaatsvindt in een percolatieveld. Deze is ontworpen naargelang het geschatte aantal bezoekers van 90 – 135 (geschat bij de start van I-QUA en Gust'Eaux), met afmetingen van 10 × 6 × 1,25 m (L x B x D), wat een oppervlakte van 60 m² en een volume van 75 m³ oplevert voor dit systeem. Naar het einde van het I-QUA project toe (2021) bleek dat het bezoekersaantal hoger lag dan verwacht, met een afvalwaterproductie van 180 – 230 m³ per 5 dagen. Dit betekent dat anno 2021 de helofytenfilter ondergedimensioneerd is. Dit werd niet opgemerkt als een probleem, aangezien er wekelijks een rustperiode is van 2 dagen (Gust'Eaux is 5 dagen in de week open), waardoor het oppervlak terug droog kwam te staan. Het is ideaal voor helofytenfilters om regelmatig een droogtemoment te hebben.

De deklaag heeft een dikte van 5 cm en bestaat uit lavasteen met een afmeting van 8 -16 mm. De middelste laag bevat het ECOZ[®] substraat en heeft een dikte van 90 cm. De onderste lavasteenlaag (8 - 16 mm) heeft een dikte van 30 cm. De folie die in het frame geplaatst wordt, is vervaardigd uit HDPE (high density polyethyleen) en heeft een dikte van 1 mm. In deze bovenste lavalag kunnen planten geplant worden. Hierdoor vormt er zich een wortelzone die geurhinder voorkomt. Deze planten hebben voornamelijk een esthetische en ecologische functie. Boven op het systeem zijn er 8 PVC verdeelbuizen aangebracht. De buizen hebben elk een diameter van 50 mm. Om de 500 mm is er een opening aanwezig met een diameter van 13 mm, waaruit het afvalwater kan stromen. Om deze verdeelbuizen te kunnen reinigen is er op het einde van de buizen een verwijderbare schroefdoop voorzien. De pompput is gemaakt uit medium density polyethyleen (MDPE). De pompput heeft een diameter van 600 mm en een hoogte van 1200 mm. Het gaat hier om een industriële vuilwaterpomp, van het type FSV 40-4V (HOMA).



Figuur 3-3. Schematisch overzicht van de helofytenfilter.

Alle toestellen en onderdelen uit de elektrische kast hebben een CEBEC-keurmerk. De installatie voldoet aan het AREI (Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties). De kast is gemaakt uit kunststof (polyester). De beschermingsgraad van de kast is IP 65 (stofdicht en beschermd tegen lichte waterstralen) in gesloten toestand en IP20 (beschermd tegen vaste objecten groter dan 12,5 mm) in geopende toestand. De voedingskabel komt toe op

een verzegelbare tweepolige verliesstroomschakelaar van 30 mA. De voeding van de pomp loopt via een automaat van 16 A (4,5 kA), die beschermt tegen overstroom en kortsluiting. Daarnaast is er een thermische motorbeveiligingsschakelaar in de kast ingebouwd, om te voorkomen dat de pomp in geval van blokkering verbrandt.

De VFCW werkt met een periodiek laadregime met voeding- en rusttijden. Voorbehandeld afvalwater van de septische put wordt snel op het oppervlak van de VFCW aangebracht door een dompelpomp type FSV 40-4 V (HOMA) (debiet $13,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) met een doseringsfrequentie van 4 cycli per dag met een volume van 1 tot $2,5 \text{ m}^3$ per cyclus (5,6 min/cyclus) afhankelijk van de hoeveelheid geloosd afvalwater. De pomp in de pompput is voorzien van een vlotter. Enkel als het afvalwater een bepaald niveau bereikt, zal deze pomp in werking treden en het afvalwater naar de VFCW pompen.

De snelle introductie van afvalwater op het waterrijke oppervlak zorgt voor waterplassen en bijgevolg voor tijdelijk verzadigde omstandigheden in de toplagen. Het water wordt vervolgens verticaal afgevoerd door de poreuze mediumlagen van het bed door middel van de zwaartekracht in een onverzadigde stromingsmodus. Terwijl het water wegstroomt, komt er nieuwe lucht uit de atmosfeer het systeem binnen en versterkt dit de microbiële activiteit in het systeem. Het effluent wordt op de bodem van het systeem verzameld via een afvoerleiding in een verzameltank, voordat het wordt geloosd of verder wordt behandeld voor hergebruik van water. Na de volledige afvoer van het afvalwater wordt een rustperiode toegepast om de aerobe omstandigheden in het bed volledig te herstellen en om oxidatie van de opgehoopte organische stof mogelijk te maken, om verstopping van het bed te voorkomen.

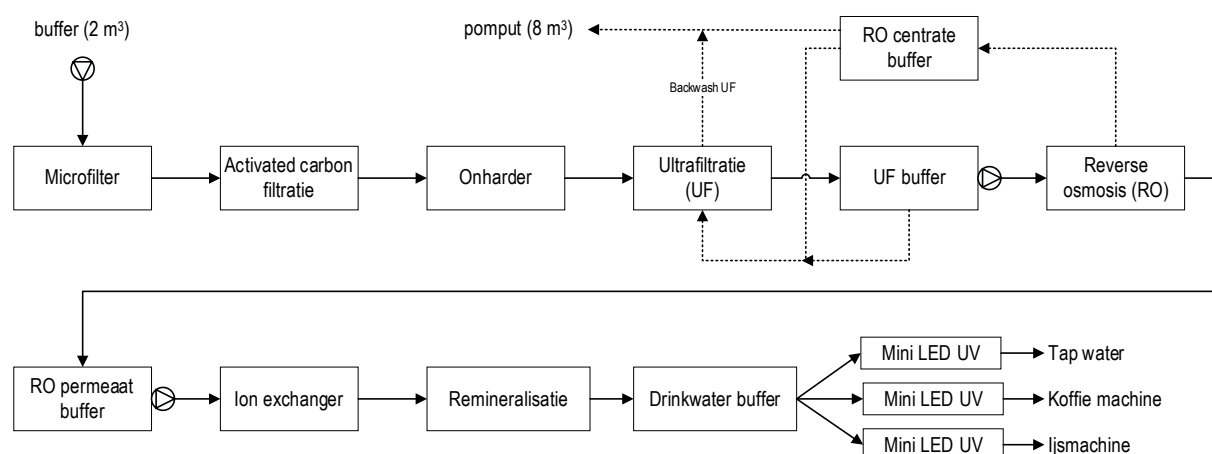
Het effluent wordt gecollecteerd op de bodem van het systeem. Er blijft altijd water aanwezig op de bodem van het systeem omdat dit een positieve invloed heeft op de zuivering en het de planten altijd voorziet van water, wanneer het systeem weinig belast wordt. Het niveau waar het effluent het percolatieveld verlaat, dient altijd hoger te liggen dan het maximum waterniveau van het lozingspunt, om te voorkomen dat er water kan terugvloeien naar het systeem. Hierdoor kan het water via de zwaartekracht het systeem verlaten en is er geen nood om een extra pomp te installeren.

3.5.4 Membraan gebaseerde drinkwaterinstallatie

Een schematische weergave van het drinkwaterproductieproces is getoond in Figuur 3-4. Hierbij zijn de voornaamste componenten de microfiltratie membraan (MF), actieve kool filter (AC), onthardingsinstallatie, ultrafiltratie membraan (UF), reverse osmosis membraan (RO), ionenwisselaar en LED-UV desinfectie. Het MF-membraan (merk HYDRA) heeft een maaswijdte van $10 \mu\text{m}$ en werkt als voorfilter (zelfreinigend), gemonteerd achter de influentpomp. Daarnaast is er een AC filter met een inhoud van $16,8 \text{ L}$ geïnstalleerd met ongeveer $12,6 \text{ L}$ actief kool (FA100). Daarna stroomt het water door een ontharder gevuld met typische huishoudelijk onthardingshars (Delta waterontharders, type Ontario Duplex $2 \times 12 \text{ L}$) met een debiet van $150\text{-}200 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ bij een druk van 1 bar om $0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ hardheid te verkrijgen. Het momentane debiet door de membranen zal niet hetzelfde zijn als in de ontharder. Daarom vindt tussenbuffering plaats om de componenten hydraulisch te ontkoppelen. De ontharder wordt gevolgd door een behandeling met het UF-membraan (Polymem, type UF 35 G S2F) met een oppervlakte van $10,4 \text{ m}^2$ en een poriegrootte van 15 nm . Het debiet door het membraan is $\pm 200 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, wat een flux geeft van $19,2 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. Het permeaat van het UF-membraan komt vervolgens terecht in een UF-buffer (60 L). Het water uit de UF-buffer wordt vervolgens naar het RO-membraan (DOW FILMTEC BW2530) gepompt. Deze behandelingsunit heeft een oppervlakte van $2,6 \text{ m}^2$ met een permeaatdebiet van $\pm 30 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$. De concentraatstroom

werd gedeeltelijk gerecirculeerd naar het UF-buffervat om een hogere recovery mogelijk te maken zonder de maximaal toegestane recovery van het RO-element te overschrijden (max. 10 - 12 %). Periodiek of wanneer een bepaald drukverschil wordt bereikt, wordt een terugspoeling uitgevoerd met RO-concentraat zonder extra chemicaliën.

Het RO-permeaat komt terecht in een permeaatbuffer met een volume van 100 L, van waar het naar een ionenwisselaar wordt gepompt, met daarin een mengsel van twee harsen: een gemengd bed (NM 60, Lewatit) en een anionenwisselaar (Monoplus SR7, Lewatit). Het effluent van de ionenwisselaars vereist remineralisatie (vanwege de zeer lage geleidbaarheid van $<2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), wat wordt bekomen met behulp van CO_2 -dosering tot een uiteindelijke geleidbaarheid van respectievelijk $120 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Het geremineraliseerde water stroomt naar een drinkwatertank van 100 L. Ten slotte desinfecteert een LED-UV (Aquisense, type Pearl Aqua micro 12 C) het drinkwater voor gebruik van het water op verschillende plaatsen in het restaurant.



Figuur 3-4. Schematische opstelling van de BOSAQ-drinkwaterinstallatie.

3.6 Monitoringsprogramma

BOSAQ heeft om tafelwater te kunnen bottelen een tijdelijke vergunning (ambulante detailhandel B2C van levensmiddelen) van FAVV verkregen. Hiervoor werd een technisch dossier ingediend incl. o.a. volledige drinkwateranalyse, gevarenanalyse en risicobeheer (stappenplan, zie eerder vermeldde Omzendbrief).

Vervolgens werd een doorgedreven monitoring opgezet met UGent. Er werden stalen genomen van zowel de VFCW als van de drinkwaterinstallatie. Voor de VFCW werden er enkel stalen genomen van het influent en effluent. Voor de drinkwaterinstallatie waren er meer bemonsteringsplaatsen. De AC-filter, UF-membraan, RO-membraan, mixed bed (MB), geremineraliseerd water (RW) en water van de kraan (TAP) werden wekelijks meerdere malen bemonsterd. Ammonium en nitriet waren twee belangrijke parameters die goed moesten opgevolgd worden binnen de drinkwaterinstallatie omdat deze parameters een strikte drinkwaternorm hebben. Het RO-membraan verwijderde ammonium en nitriet niet voldoende waardoor hierna nog een mixed bed ionenwisselaar geplaatst werd om een verdere verwijdering te verkrijgen. Door de geleidbaarheid van het mixed bed te meten, kan er gemakkelijk nagegaan worden wanneer deze gesatureerd is. Omdat ammonium en nitriet onvoldoende verwijderd worden door de helofytenfilter voor de productie van drinkwater en online opvolging niet mogelijk is, werd er besloten om deze parameters 3 maal per week te bepalen.

Van elk genomen staal werden er een aantal testen uitgevoerd om de kwaliteit van het water te kunnen beoordelen. In Tabel 3-2 staan alle te bepalen parameters per bemonsteringspunt weergegeven. De getallen geven aan hoeveel keer per week de parameter in kwestie moet bepaald worden voor een specifiek monsternamepunt. The analysemethoden werden uitgevoerd volgens de “Standaard Methode” bij alle parameters, meer info hierover is te vinden in de paper van Lakho et. al. (2021a).

Tabel 3-2. Frequentie (metingen per week) van uit te voeren analyses per monsternamepunt voor Gust’Eaux.

Parameter	Eenheid	Monsternamepunt							
		Influent	Helofytenfilter			Drinkwaterinstallatie			
			effluent	AC	UF	RO	MB	RW	TAP
Algemene Parameters									
pH		1	1						
Temperatuur		1	1						
EC	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	1	1				3		
ZS	mg.L^{-1}	1	1						
CZV	mg.L^{-1}	1	1	1	1	1			
TOC	mg.L^{-1}	1	1	1	1				
BZV	mg.L^{-1}	1	1						
TP	mgP.L^{-1}	1	1						
PO ₄ ⁻ -P	mgP.L^{-1}	1	1			1			
NH ₄ ⁺ -N	mg.L^{-1}								
NO ₂ ⁻ -N	mgN.L^{-1}	2	2			3		3	
NO ₃ ⁻ -N	mgN.L^{-1}	2	2			3		3	
TN	mgN.L^{-1}	2	2			1		1	
Turbiditeit	NTU	1	1		1				
UV-VIS ₂₄₅		1	1						
SO ₄ ⁻	mg.L^{-1}	1	1						
Chloride	mg.L^{-1}	1	1						
Hardheid	mg.L^{-1}	1	1		1			2	
Bacteriële Contaminatie (Kwalitatief)									
Totaal cell	aantal			1	1	1		1	1
Totaal coliforms	aantal			1	1	1		1	1
E. coli	aantal			1	1	1		1	1
Enterobacteriaceae	aantal			1	1	1		1	1
Zware Metalen									
As	$\mu\text{g.L}^{-1}$	1	1						
Cd	$\mu\text{g.L}^{-1}$	1	1						
Co	$\mu\text{g.L}^{-1}$	1	1						
Cu	$\mu\text{g.L}^{-1}$	1	1						
Hg	$\mu\text{g.L}^{-1}$	1	1						
Ni	$\mu\text{g.L}^{-1}$	1	1						
Pb	$\mu\text{g.L}^{-1}$	1	1						
Zn	$\mu\text{g.L}^{-1}$	1	1						
Cr	$\mu\text{g.L}^{-1}$	1	1						
Microverontreinigingen									
Diclofenac, Carbamazepine, Metoprolol, Sulfamethoxazole, Trimethoprim, Clarithromycin, Propranolol, Hydrochlorthiazide, Solatol		slechts één keer							

3.7 Evaluatie en resultaten

3.7.1 Afvalwaterkarakteristiek

De gemiddelde samenstelling van het influent van de VFCW (na de septische putten) is weergegeven in Tabel 3-3.

Tabel 3-3. Influent- en effluentkarakteristieken VFCW (geopereerd met een hydrolyse belasting = 0,05 tot 0,08 m³.m⁻².d⁻¹).

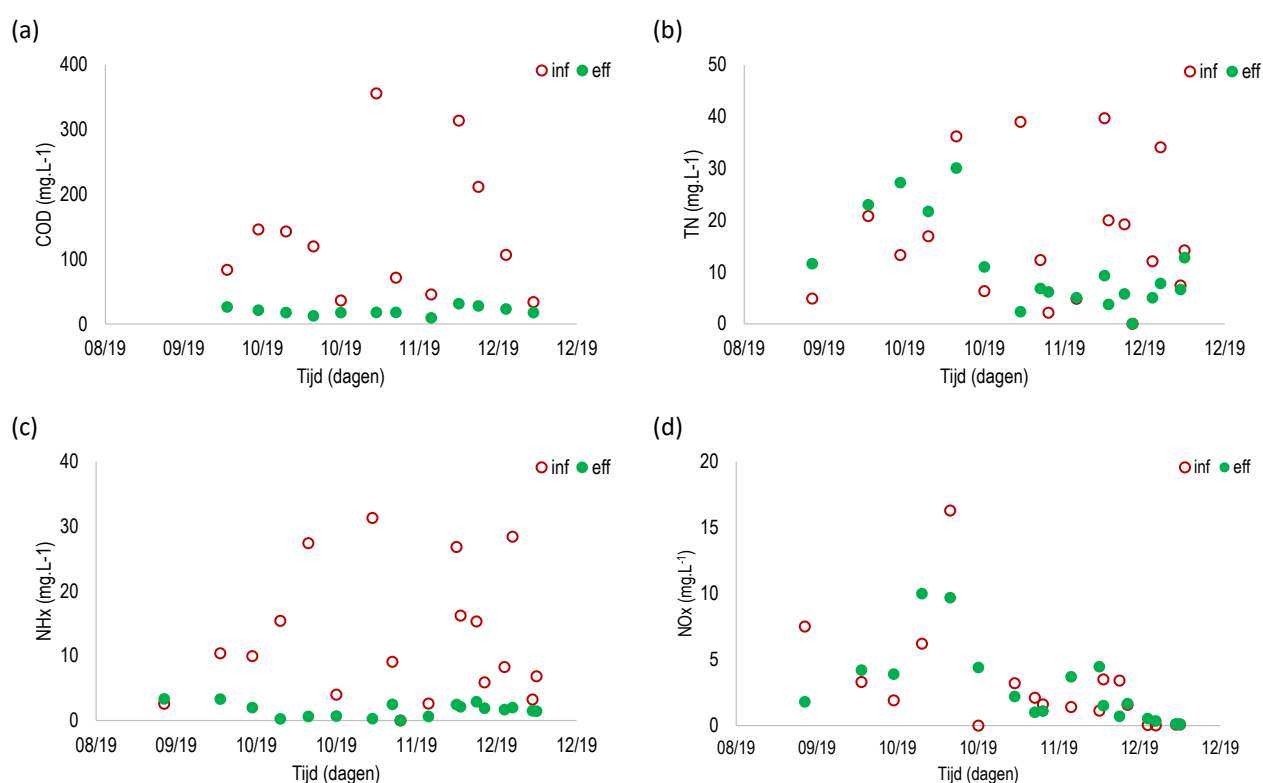
Parameters	eenheid	Gemiddeld e	Influent		Effluent		Zuiveringsrendementen %
			std	gemiddelde	std		
Algemene Parameters							
pH	-	7,3	0,3	7,1	0,4		
Turbidity	NTU	88	56	1,7	1,3		98
EC	μS.cm ⁻¹	930	445	1194	555		
DO	mg.L ⁻¹	2,5	3,4	6,2	2,5		
ZS		71	39	5,6	4,5		92
UV-VIS ₂₅₄	cm ⁻¹	0,23	0,34	0,06	0,11		73
CZV	mg.L ⁻¹	144	95	23	7		84
BZV	mg.L ⁻¹	119	77	4,1	1,6		97
TKN	mg.L ⁻¹	189	11	8,3	4,2		55
TN	mg.L ⁻¹	23	20	13	9		42
NH ₄ ⁺ -N	mg.L ⁻¹	16	14,4	1,8	1,4		88
NO ₂ ⁻ -N	mg.L ⁻¹	2	1	1	0		
NO ₃ ⁻ -N	mg.L ⁻¹	2,4	2,5	3,7	3,3		
Pt	mgP.L ⁻¹	3,7	6,5	2,8	1,5		24
PO ₄ ⁻ -P	mgP.L ⁻¹	2,6	3,2	2,4	0,5		8
SO ₄ ⁻	mg.L ⁻¹	65	16	48	23		26
Chloride	mg.L ⁻¹	129	110	93	128		28
Metalen							
As	μg.L ⁻¹	2,4	3,8	1,4	1,5		41
Cd	μg.L ⁻¹	0,6	0,9	0,3	0,3		50
Co	μg.L ⁻¹	0,6	0,4	1,5	0,3		
Cu	μg.L ⁻¹	8,8	7,5	6,4	4,6		27
Hg	μg.L ⁻¹	0,75	1,2	0,03	0,05		96
Ni	μg.L ⁻¹	7,5	5,2	13	1,2		
Pb	μg.L ⁻¹	1,7	3,3	0	0		100
Zn	μg.L ⁻¹	33,6	7,2	19	5,4		44
Cr	μg.L ⁻¹	0,8	0,1	0,1	0,2		87

De concentratie van het chemisch- en biologisch zuurstof verbruik (CZV en BZV) met respectievelijk 144 ± 95 mg O₂.L⁻¹ en 119 ± 17 mg O₂. L⁻¹, was iets lager dan de typische samenstelling van restaurantafvalwater in de literatuur (Van Hulle et al., 2012). De influentbelasting van CZV en BZV waren dan ook slechts 9,5 g CZV. m⁻².d⁻¹ en 7,9 g BZV. m⁻².d⁻¹ wat veel lager is dan de aanbevolen belasting van 30 g CZV. m⁻².d⁻¹ en 80 g CZV. m⁻².d⁻¹ respectievelijk voor een VFCW in koude en warme klimaten (Dotro, e.a., 2017). Dit kan mogelijks verklaard worden ten gevolge van een hoge verdunning van afvalwater, aangezien er een hoger waterverbruik per klant is ten opzichte van de literatuur, in combinatie met een effectieve voorbehandeling (2 septische tanks in serie). De berekende ratio BZV/CZV is 0,83, wat duidt op een algehele goede biologische afbreekbaarheid. De verhouding TN/CZV is 0,16. De ZS concentratie is ongeveer 71 ± 39 mg.L⁻¹, wat lager ligt dan verwacht (Sylla, 2020; Yadav, e.a., 2018). Een lage ZS-concentratie is echter positief te beschouwen, aangezien zwevende stoffen verstoppingen kunnen veroorzaken. De concentraties van totaal stikstof (TN), ammonium, nitraat, nitriet, totaal fosfor (TP) en orthofosfaat waren vergelijkbaar met

andere metingen van afvalwater van restaurants (Ramprasad, e.a., 2017) en hoger dan die van grijswater, aangezien er toiletten en urinoirs aangesloten zijn. Geleidbaarheid (EC) en troebelheid hadden een waarde van $930 \pm 445 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ en $88 \pm 56 \text{ NTU}$. De belangrijkste bronnen voor EC zijn de zouten in zeep, wasmiddelen, waspoeders en mogelijk uit het leidingwater zelf (Zraunig, e.a., 2019). De concentratie aan sulfaat en chloride lagen in het bereik van respectievelijk $65 \pm 16,3$ en $29 \pm 110 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. De absorptie bij 254 nm (UV_{254}) werd gemeten op $0,23 \pm 0,34 \text{ cm}^{-1}$.

3.7.2 Zuiveringsrendementen bij de helofytenfilter

De VFCW werd bedreven met een hydraulische belasting van $0,05$ tot $0,08 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ en bleek efficiënt te zijn voor het behandelen van restaurantafvalwater. De effluentconcentraties van CZV, BZV en ZS waren $23 \pm 7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $4,1 \pm 1,6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en $5,6 \pm 4,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Tabel 3-3), waarbij zowel BZV en ZS voldeden aan de vereiste lozingsgrens in Vlaanderen van $25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en $60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (VLAREM II, 1995). Verder zijn er hoge verwijderingsefficiëntie van CZV (84%), BZV (97%) en ZS (92%) bereikt. Merk op dat de hoge variabiliteit van het organische gehalte in het influent tijdens de monitoringperiode een geringe invloed had op de effluentconcentratie (Figuur 3-5a).



Figuur 3-5. Evolutie van de (a) CZV, (b) TN, (c) $\text{NH}_4^+\text{-N}$, (d) $\text{NO}_3\text{-N}$ tijdens de meetperiode voor het influent (rood) en effluent (groen).

De VFCW verwijderde CZV en BZV aan een belasting van $9,7 \text{ g CZV}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ en $9,2 \text{ g BZV}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, wat lager ligt dan de in de literatuur gerapporteerde waarden, namelijk van ongeveer $35 \text{ g CZV}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ en $46 \text{ g BZV}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (Tabel 3-4). Dit kan worden toegeschreven aan het feit dat de lagere belasting leidt tot lagere verwijderingssnelheden. Echter, bij de studie van Zurita et al. (2009) werd huishoudelijk afvalwater gezuiverd via VFCW met een soortgelijke belasting van $9,9 \text{ g CZV}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Hierbij is de verwijdering van $7,6 \text{ g CZV}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ dan wel weer lager dan deze verkregen bij Gust'Eaux.

Tabel 3-4. Behandelingsprestaties van VFCW in deze studie in vergelijking met andere studies.

Referentie	Deze Studie	Carvalho e.a., (2018)	Wang e.a., (2018)	Al-Isawi e.a., (2017)	Zraunig e.a., (2019)	Sylla, (2020)	Yadav e.a., (2018)	Weerakoon e.a., (2016)	Zurita e.a., (2009)	Ramprasad e.a., (2017)	
afvalwater type	Restaurant	universiteitsrestaurants	Ruw huishoudelijk afvalwater universiteit	Voorbehandeld huishoudelijk afvalwater	Grijswater- toeristische voorziening	huishoudelijk afvalwater	Ruw huishoudelijk afvalwater	Synthetisch afvalwater	huishoudelijk afvalwater	Grijswater uit hostel	
CVZ	Influent (mg.L ⁻¹)	144	752	142	281	158	317	716	247	320	
	Effluent (mg.L ⁻¹)	23	34	31	51	6	136	70	56	20	
	Rend. (%)	84	95	79	62	94	57	90	77	93	
	Specifieke verwijderingssnelheid (gCZV.m ⁻² .d ⁻¹)	8,5	35	28		21	695	96	315	16	
BVZ	Influent (mg.L ⁻¹)	119			151	116	31	509	28	115	72
	Effluent (mg.L ⁻¹)	4,1			19	3	19	57	2,9	21	5,6
	Rend. (%)	97			74	96	38	88	90	81	92
	Specifieke verwijderingssnelheid (gBVZ.m ⁻² .d ⁻¹)	8				15	46	67	11	154	6
ZS	Influent (mg.L ⁻¹)	71	164			63	0,06	0,65	160	57	240
	Effluent (mg.L ⁻¹)	5,6	6,8			3	0,03	0,32	56	22	16
	Rend. (%)	92	92			91	50	50	64	61	93
	Specifieke verwijderingssnelheid (gZS.m ⁻² .d ⁻¹)	4,6	8			8	0,1		40	57	12
TN	Influent (mgN.L ⁻¹)	23	85	29		10			28,7	22	
	Effluent (mgN.L ⁻¹)	13	25	23		4,6			14	0,22	
	Rend. (%)	42	69	23		43			48	99	
	Specifieke verwijderingssnelheid (gN.m ⁻² .d ⁻¹)	0,7	3	1,7		0,8			22	4,7	
Pt	Influent (mgP.L ⁻¹)	3,7		2,6	13,3				2,8	8,3	3,8
	Effluent (mgP.L ⁻¹)	2,8		1,7	2,9				0,5	3,9	0,12
	Rend. (%)	24		45	23				82	53	96
	Specifieke verwijderingssnelheid (gP.m ⁻² .d ⁻¹)	0,1		0,3					1	7,3	0,2

De maximaal verkregen verwijdering van ZS was ongeveer 5,2 g ZS. m⁻².d⁻¹, wat bereikt werd bij een toegepaste belasting van 5,9 g ZS. m⁻².d⁻¹. De VFCW verwijderde gemiddeld 88 % ZS, wat overeenkomt met een effluentconcentratie van 5,6 mg.L⁻¹. Een hogere ZS-influentconcentratie werd opgemerkt tijdens de eerste drie weken (161 mg.L⁻¹, 2 g ZS. m⁻².d⁻¹) wat kan worden toegeschreven aan het uitspoelen van de aangelegde leidingen.

De verwijderingsresultaten van dit onderzoek zijn hoger dan eerder gerapporteerd (Tabel 3-4) vanwege de lagere belasting, goed ontwerp en goede biologische afbreekbaarheid van de organische stoffen. ZS worden voornamelijk verwijderd door fysische processen zoals sedimentatie en filtratie (Robert, e.a., 2008), gevolgd door aerobe of anaerobe microbiële afbraak in het substraat (Manios, e.a., 2003). Dit geeft aan dat de vereiste voorwaarden voor goede sedimentatie en filtratie (zoals geschikte toevoer en werking) bereikt werden in de VFCW vanwege de beperkte instroomsnelheden, met als gevolg een lagere ZS-concentratie in het afvalwater. Daarom kan worden geconcludeerd dat de VFCW de organische belasting verlaagt vanwege het juiste ontwerp en bedrijfsregime en dat aan de huidig geldende lozingslimieten kan worden voldaan.

De gemiddelde effluentconcentratie voor TN was 13 mg N.L^{-1} bij een toegepaste belasting van $1,9 \text{ g TN. m}^{-2}.\text{d}^{-1}$, en het verwijderingspercentage was 42 % of $0,8 \text{ g TN. m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ (Tabel 3-3). Hoewel de denitrificatie-efficiëntie werd berekend op een gemiddelde van ongeveer 40 % (berekend op basis van influent TN en effluent TN). Een belangrijke opmerking hierbij is dat tijdens de eerste zes weken van gebruik (Figuur 3-5b) geen statistisch significant verschil tussen de influent en effluent TN werd waargenomen ($\text{TN}_{\text{influent}} = 29 \pm 23 \text{ mg N.L}^{-1}$, $\text{TN}_{\text{effluent}} = 22 \pm 8 \text{ mg N.L}^{-1}$, p-waarde = 0,28, met aantal stalen = 9). De onvoldoende denitrificatie was hoogstwaarschijnlijk te wijten aan de afwezigheid van anoxische zones. Een vergelijkbare verwijderingsefficiëntie werd in de literatuur ook gerapporteerd (Stefanakis, e.a., 2011; Yadav e.a., 2018; Zraunig e.a., 2019; Zurita e.a., 2009). De gemiddelde nitrificatie-efficiëntie van 88 % werd waargenomen en wordt berekend op basis van de hoeveelheid ammonium in het influent en effluent, wat wijst op een hoog rendement van ammonificatie van de organische stikstof uit het influent en daaropvolgende nitrificatie. De variatie in de nitrificatie en denitrificatie is te zien in Figuur 3-5c en d.

De gemiddelde belasting van TP naar de VFCW was $0,3 \text{ g P.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. Het systeem realiseerde een fosforverwijdering van $0,07 \text{ g P.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ (23%) wat resulteerde in $2,8 \text{ mg P.L}^{-1}$ in het effluent (Tabel 3-3). Desalniettemin, was er geen statistisch significant verschil tussen TP in influent en effluent van de VFCW ($\text{TP}_{\text{influent}} = 2,6 \pm 3,2 \text{ mg P.L}^{-1}$, $\text{TP}_{\text{effluent}} = 2,4 \pm 0,4 \text{ mg P.L}^{-1}$, p-waarde = 0,81 met aantal stalen = 16). De verwijderingsefficiëntie van TP in deze studie was tamelijk laag in vergelijking met vergelijkbare studies in Tabel 3-4. Het lage fosforgehalte in het influent kan te maken hebben met het feit dat de meeste wasmiddelen geen fosfaten meer bevatten (Zraunig e.a., 2019). Niettemin zal een extra nutriëntverwijdering noodzakelijk zijn om aan eventueel toekomstige normen te kunnen voldoen.

Een verwijdering van respectievelijk 100 %, 96 %, 87 %, 50 %, 44 % en 41 % werd bereikt voor respectievelijk Pb, Hg, Cr, Cd, Zn en As (Tabel 3-3). Negatieve waarden werden gevonden voor Co en Ni, wat waarschijnlijk het gevolg is van uitloging tijdens de opstartperiode uit het substraat (Hallberg, e.a., 2005; Hussain, e.a., 2020; Kröpfelová, e.a., 2009). Alle in Tabel 3-2 genoemde microverontreinigingen lagen onder de detectielimiet ($<0,05 \mu\text{g.L}^{-1}$), wat suggereert dat het meeste afvalwater afkomstig was van waswater in het restaurant.

3.7.3 Prestaties van drinkwaterproductiesysteem

Het op membranen gebaseerde behandelingsstelsel werd geïnstalleerd om het effluent van de VFCW te behandelen voor hergebruik van drinkwater. Het doel was om alle schadelijke componenten zoals metalen, organische verontreinigende stoffen en nutriënten te verwijderen. De monitoring vanuit UGent was gericht op ammonium en nitriet, aangezien de VFCW een inefficiënte verwijdering van deze verbindingen aantoonde en het risico bestond dat deze stikstofverbindingen door de membraaneenheden konden gaan. Bovendien werden pathogene bacteriën ook bekeken vanwege strikte richtlijnen met betrekking tot gezondheidsproblemen. Tabel 3-5 toont dat alle genoemde parameters een goede tot uitstekende verwijderingsefficiëntie hadden in vergelijking met

het effluent van de VFCW. Het effluent van VFCW werd gestuurd naar een microfilter (10 μm), waar de meeste deeltjes en bacteriën werden verwijderd. De AC verwijderde tot 54 % van de inkomende CZV uit het effluent van de VFCW (23 mg.L^{-1}). Na de behandeling door de UF, werd nog eens 25 % CZV verwijderd tot een waarde van 7,7 mg.L^{-1} . Ten slotte werd de CZV-concentratie van 0,01 mg.L^{-1} bereikt in het effluent van het RO-membraan, wat overeenkomt met een verwijderingsrendement van 99 % (Tabel 3-5). De EC bereikte 2,1 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ na een reductie van 99 % van het VFCW-effluent door het mengbed (MB).

Tabel 3-5. Gemiddelde influent- en effluentwaarden drinkwaterproductiestappen met bijhorende standaarddeviaties en reductiepercentages. ND = niet detecteerbaar (< 0,05 $\mu\text{g.L}^{-1}$), n = aantal monsters.

Parameter	eenheid	VFCW Effluent (n = 40)		Effluent AC (n = 16)		Effluent UF (n = 16)		RO Permeaat (n = 16)		Effluent MB (n = 16)		Tapwater (n = 16)		VFCW tot tapwater (%)	Drinkwater normen
		gem.	std	gem.	std	gem.	std	gem.	std	gem.	std	gem.	std		
EC	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	1194	555							2,1	1,1			99	1000
CZV	mg.L^{-1}	23	7	10,4	5,1	7,7	3,4	0,01	0,004					99	30
TP	mg P.L^{-1}	2,8	1,5					0,05	0,05					98	
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	mg N.L^{-1}	1,8	1,4					0,04	0,03			0,007	0,004	97	
$\text{NO}_2\text{-N}$	mg N.L^{-1}	1	0					0,02	0,01			0,003	0,002	98	0,5
$\text{NO}_3\text{-N}$	mg N.L^{-1}	3,7	3,3					0,7	0,3			0,4	0,2	81	50
Bacteriële contaminatie															
Totaal kiemgetal	KVE/100 ml			ND		ND		ND				ND			NG
Totale coliformen	KVE/100 ml			ND		ND		ND				ND			0
<i>E. coli</i>	KVE/100 ml			ND		ND		ND				ND			0
Enterobacteriaceae	KVE/100 ml			ND		ND		ND				ND			0

De nutriënten werden gemeten in het permeaat van het RO-membraan omdat dit de kleinste poriegrootte heeft. Ammonium, nitriet en nitraat werden verwijderd tot respectievelijk 0,04 mg N.L^{-1} , 0,02 mg N.L^{-1} en 0,71 mg N.L^{-1} met respectievelijk een verwijderingspercentage van 99 %, 70 % en 83 %. Na ionenwisseling werden deze verbindingen gevonden in het bereik van respectievelijk 0,007 mg N.L^{-1} , 0,003 mg N.L^{-1} en 0,4 mg N.L^{-1} met een respectievelijke reductie van respectievelijk 79 %, 44 % en 99 %. Het op membranen gebaseerde drinkwatersysteem in deze studie bleek vrij efficiënt te zijn in het verwijderen van nutriënten uit het VFCW-effluent om het uiteindelijke drinkwater te produceren met een algeheel verwijderingsrendement tussen 90 % en 99 %.

Microbiële parameters werden getest voor alle eenheden behalve het gemengd bed. De kwalitatieve testresultaten ontdekten geen pathogenen in verschillende eenheden van op het drinkwatersysteem (Tabel 3-5). Bovendien zaten de microverontreinigingen beschreven in Tabel 3-2 onder de detectielimiet van 0,05 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Het is belangrijk op te merken dat een onafhankelijke analyse van het FAVV aantoonde dat het drinkwater uit het bestudeerde systeem voldeed aan alle drinkwaternormen zoals gereguleerd door de Europese drinkwaterrichtlijn (98/83/EG). Deze resultaten gaven aan dat het directe hergebruik van afvalwater uit het restaurant kan worden bereikt met het huidige systeem. Soortgelijke conclusies werden ook getrokken in een onderzoek naar direct waterhergebruik uit afvalwater van het Dranouter festival in Vlaanderen.

3.8 Onderhoud & kosten

Hieronder worden de kost voor de operatie van de helofytenfilter in rekening gebracht. Zoals hierboven vermeld was de aanleg van de helofytenfilter goedkoper dan het aanleggen van een riolering. De investeringskosten voor

het drinkwatersysteem werden niet bekeken omdat dit systeem (bewust) overgedimensioneerd was gezien het hier over een demonstratieproject ging en er geen risico voor de volksgezondheid kon genomen worden. Andere kosten worden hier niet in rekening gebracht omdat daar op dit moment geen duidelijk beeld van is, maar het spreekt voor zich dat er in principe ook rekening moet gehouden worden met jaarlijkse onderhoudskosten en analysekosten (in het bijzonder voor het opvolgen van de drinkwaterkwaliteit).

In een helofytenfilter gebeurt de degradatie van pollutanten voornamelijk via plantopname, substraatadsorptie en microbiële degradatie/assimilatie. Hierdoor is er weinig energie nodig om het water te zuiveren. Er wordt enkel energie verbruikt door de pompen die het afvalwater moet inbrengen in de VFCW. De jaarlijkse kost en energieverbruik van de pompen in de pompputten wordt als volgt berekend (Tabel 3-6).

Dagelijks verbruik is gelijk aan 5062,5 L/d (zie sectie 2.5). Per week zijn er twee sluitingsdagen, wat neer komt op 25312,5 L/week. Als dit omgezet wordt naar jaarbasis komt dit overeen met 1316,25 m³/jaar. Er zitten werkende pompen in het systeem: één in de influent put en de andere in pompput van de VFCW. Dus, 2632,5 m³/jaar is de hoeveelheid afvalwater die deze pomp op jaarbasis moet verpompen. Het debiet van elke pomp is 225 L/min. Het totaal aantal minuten dat deze pomp jaarlijks moet werken is dan gelijk aan 11700 minuten (2632,5 m³/ 225 L/min). Dit komt overeen met 195 uren per jaar. Elke pomp heeft een opgenomen vermogen van 0,75 kW. Dit levert een jaarlijks energieverbruik van de pomp op gelijk aan 146,25 kWh (0,75 kW x 195 uren). Als de energiekost wordt gelijkgesteld aan deze voor Vlaamse bedrijven, dan wordt 0,22 €/kWh betaald (excl. BTW, anno 2021). Dit zorgt voor een energiekost voor deze pomp van 32,18 €/jaar. In deze berekening wordt er geen rekening gehouden met extra sluitingsdagen tijdens het jaar en wordt er aangenomen dat er elke dag 135 klanten zijn, waardoor deze berekening eerder als ruwe schatting dient beschouwd te worden. Toch kan er hieruit geconcludeerd worden dat de nodige energiekosten bij de uitvoering van de VFCW heel beperkt zijn. Wanneer het water verder gezuiverd wordt tot drinkwater zullen er extra kosten in rekening dienen gebracht te worden.

Tabel 3-6. De jaarlijkse kost en energieverbruik van de pompen in het systeem (voor helofytenfilter).

Element	Waarde	Opmerking
Jaarlijks verbruik van water	1316,25 m ³ /jaar	Dagelijks verbruik = 5062,5 l/d, per week twee sluitingsdagen
Werkende pompen in het systeem	2	een in het influent put en de andere in pompput van de helofytenfilter
Debiet van elke pomp	225 l/min	
Vermogen van elke pomp	0,75 kW	
Jaarlijks werkuren van pompen	195 uren per jaar	1316,25 (m ³ /jaar) x 2 / 225 (l/min) / 60 (min/uur)
Jaarlijks energieverbruik	146,25 kWh	0,75 kW x 195 uren
Energiekost	0,22 €/kWh	excl. BTW
Energieverbruik kost	32,18 €/jaar	

3.9 Reflectie en leerpunten

Tijdens de werking van de VFCW en het drinkwatersysteem kwamen verschillende problemen voor. Deze werden opgelost door middel van verschillende technieken, methoden en aanbevelingen om de prestaties ervan te verbeteren en om aan de normen te kunnen voldoen. Opgemerkt werd dat de VFCW soms minder presteerde bij koudere temperaturen. Het nitrificatieproces kan worden versterkt door actieve beluchting waardoor de omzetting van ammonium in nitraat zou toenemen. Hierbij kan de zuurstof afwisselend worden ingebracht om anoxische zones te creëren die nodig zijn voor het denitrificatieproces (Fan, e.a., 2013). Bovendien zouden de anoxische omstandigheden kunnen worden gecreëerd door een onderste verzadigde laag van 15-20 cm te ontwerpen.

In deze studie werd opgemerkt dat RO-membranen niet 100 % van de microverontreinigingen kunnen verwijderen. Bijvoorbeeld acrylamide, gegenereerd tijdens het frituren, kon door het membraan niet volledig worden verwijderd (data niet weergegeven). Om deze reden wordt voor drinkwatertoepassingen nog steeds geadviseerd om de RO-behandeling te combineren met een AC filter stap. Deze techniek werd dan ook in dit onderzoek toegepast en bleek microverontreinigingen (zoals acrylamide) efficiënt te kunnen verwijderen, om aan de drinkwaternorm te voldoen. Het implementeren van een AC voor RO-behandeling bleek dus gunstig te zijn als een extra barrière voor microverontreinigingen. VFCW verwijderde nutriënten zoals ammonium, nitriet en nitraat niet tot aan de drinkwaternormen en in deze studie werd gekozen voor de RO gevolgd door een ionenwisselaar, die goed genoeg bleek om de nutriënten te verwijderen.

Deze studie was gericht op het aantonen van de technologische mogelijkheden om gemengd grijs - zwart afvalwater om te zetten in drinkwaterkwaliteit. Dit afvalwater kan worden gezuiverd door het aangelegde VFCW en het effluent van het VFCW kan vervolgens hergebruikt worden voor toiletspoeling. Bij verdere behandeling met een drinkwaterproductie systeem via diverse filtratiestappen (microfiltratie, ultrafiltratie, omgekeerde osmose, ionenwisseling, actief koolfilter en LED-UV) kan het als drinkwater worden gebruikt. Dit zorgde ervoor dat 90 % van het afvalwater afkomstig van restaurant Gust'Eaux kon worden hergebruikt binnen de locatie, waaronder ook deels de zuivering tot drinkbaar water (hier specifiek als tafelwater, ijswater en voor de koffiemachine). Een eerste steekproef toonde aan dat dit als zeer positief werd ervaren².

3.10 Conclusies en vervolg

Deze pilootopstelling toont aan dat decentrale waterzuivering een voordeel kan bieden op meerdere vlakken. Door het restaurantafvalwater afkomstig van Gust'Eaux in Kuurne (België) te behandelen met decentrale technologieën en tevens te focussen op hergebruik voor drinkwaterproductie, onderscheidt deze zaak zich op het vlak van duurzaamheid en vernieuwing. Het connecteren van deze locatie op het rioolnetwerk zou (ruw) geschat ook 3 tot 10 keer duurder kunnen zijn dan de decentrale oplossing. Ook uit de LCA blijkt dat de decentrale optie milieuvriendelijker is, want er werd aangetoond dat indien meer dan 75 m riolering moet aangelegd worden (Gust'Eaux ligt 300 m van het bestaande rioolnetwerk) de milieu-impact kleiner is bij lokale zuivering. De beredeneerde keuze voor zuivering op plantaardige wijze met een helofytenfilter werd gemaakt op basis van de afvalwaterkarakteristieken en -volume, alsook op het feit dat dit systeem niet voor klanten dient verborgen te worden (geen geurhinder, natuurlijk uitzicht, etc.). De helofytenfilter blijkt uit de resultaten dan ook efficiënt te zijn om het restaurantafvalwater te zuiveren, waarbij alle effluentparameters onder de lozingslimieten liggen. De helofytenfilter is bediend met een hydraulische belasting van 0,05 tot 0,08 m³.m⁻².d⁻¹ en behaalt een goede verwijdering voor CZV, BZV en ZS, van respectievelijk 84 %, 97 % en 92 %.

Waterhergebruik is in deze demonstratie ook een belangrijk aspect. Binnen deze demo is gedurende een 3-tal maanden het effluent van de helofytenfilter verder gezuiverd met een op membranen gebaseerd systeem tot drinkwater. De drinkwaterinstallatie verminderde significant (organische) vervuilende stoffen en bacteriën, waardoor aan alle wettelijke normen voor drinkwater werd voldaan. Gust'Eaux heeft daarom dit drinkbaar water hergebruikt als tafelwater, water voor de koffiebereiding en ijsmachine in het restaurant. De bezoekers van restaurant Gust'Eaux werden daarbij tegelijk geïnformeerd over het belang van lokaal water(her)gebruik en werden geprikkeld om in gesprek te gaan over circulaire toepassingen van grondstoffen. Inmiddels werd er ook een speciaal biertje, genaamd 'Labo', gebrouwen van het gezuiverde afvalwater met drinkwaterkwaliteit. Deze studie kan als

² <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2019/10/10/water-uit-de-wc-zuiveren-tot-drinkwater-in-kuurne-gebeurt-het/>

succesvol worden beschouwd, aangezien het aantoont dat zwart en grijs water vergaand kunnen behandeld en hergebruikt worden. Namelijk 90 % van het afvalwater werd na behandeling met de helofytenfilter hergebruikt, dit als water voor toepassingen binnen het restaurant (toiletten spoelen, kuisen, etc.) en als drinkbaar water na verdere zuivering met een membraansysteem. Dit overtreft de verwachte 30 – 60 % waterhergebruik bij de start van dit project.

3.10.1 Toekomst

De economische haalbaarheid en recente ontwikkelingen hebben ertoe geleid dat deze pilot niet voortgezet wordt. Het restaurant wordt namelijk aangesloten op riolering, waardoor een lokale afvalwaterzuiveringsinstallatie niet meer noodzakelijk is.

4 Biologische geitenboerderij (Lochristi)

4.1 Toelichting pilot

Landbouwbedrijven in Vlaanderen zijn vanwege hun ligging in het buitengebied vaak moeilijk te connecteren aan het rioleringsnetwerk. Bovendien kunnen ze naast huishoudelijk afvalwater ook bedrijfsafvalwater produceren (o.a. via spoeling van machines, groenten, reiniging). Om de milieukwaliteit van de omgeving (denk aan bodem, waterlopen, etc.) te behouden, dient zowel het bedrijfs- als huishoudelijk afvalwater afkomstig van de boerderij behandeld te worden alvorens het geloosd wordt. In Vlaanderen wordt daarbij voornamelijk gefocust op decentrale waterzuivering. In deze case zal de waterzuivering besproken worden van een biologische geitenboerderij, waarbij dagelijks bedrijfsafvalwater wordt geproduceerd bij het spoelen van de melkmachines. Het afvalwater afkomstig van de melkstal (capaciteit 1000 melkgeiten) en het huishoudelijk afvalwater van het gezin (5 I.E.) moet gezuiverd worden om aan de milieueisen te kunnen voldoen. Door de karakteristiek van het water is dit niet eenvoudig met een IBA, aangezien er moet voldaan worden aan strenge normen wat betreft de lozing van stikstof en fosfor. Een uitgebreidere decentrale behandeling werd daarom toegepast, waarbij verschillende waterzuiveringstechnieken werden gecombineerd.

De geitenboerderij zuiverde het melkspoelwater al op basis van een plantenzuiveringssysteem met lavastenen. Dit systeem is eenvoudig, robuust en vergt relatief weinig ruimte. Echter een verdere behandelingsstap is nodig om aan de lozingsnormen te voldoen voor voornamelijk fosfor (fosfaten). Bestaande technieken (voornamelijk flocculatie met ijzer- of aluminiumchloride) die hiervoor geschikt zijn, vergen veel opvolging en kosten. In deze case werd er om deze reden gekozen voor vernieuwende en robuuste technieken, namelijk een plant gebaseerde eendenkroosfilter en een zandfilter op basis van “ijzeroxide gecoat zand” (IOCS). Beide methodes leveren bijkomende duurzame voordelen op, zo kan door het inzetten van eendenkroos de nutriëntenkringloop gesloten worden door bijmenging als eiwit bij het diervoeder. IOCS-korrels zijn dan weer een restproduct bij de drinkwaterproductie uit grondwater (Pidpa) en kan dus duurzaam hergebruikt worden, aangezien het heel sterk fosfor kan adsorberen. Dit zou interessant zijn om op korte termijn een oplossing te vinden voor P-verwijdering uit een P-houdend effluent, zoals het melkspoelwater. De principes worden eerst uitgetest in kleine pilootinstallaties bij de biologische geitenboerderij, om de mogelijkheden ervan te onderzoeken als decentrale afvalwaterzuiveringsstap.

Onderzoekperiode: eind 2017 – oktober 2021

Onderzochte technieken:

- Eendenkroosvijver
- Iron oxide coated sand (IOCS)- filter, oftewel ijzeroxide gecoate zandkorrels

4.2 Situering

Het landbouwbedrijf met huishouden bevindt zich in collectief te optimaliseren buitengebied (Figuur 4-1). De aanleg en aansluiting van een riolering aan een RWZI moet nog door de gemeente worden uitgevoerd. Hiervoor werd een gemeentelijk uitvoeringsplan (GUP) opgesteld (GUP-44034-009). In afwachting van de aanleg van de riolering, moet het afvalwater gezuiverd worden, waarna het geloosd kan worden in het nabijgelegen oppervlaktewaterlichaam.



Figuur 4-1. Biologische geitenboerderij en woning in buitengebied (gelegen te Lochristi, Vlaanderen).

Ter plaatste is een geitenboerderij met ca. 1000 geiten gevestigd. Hoofdactiviteit van de boerderij betreft het melken van geiten. De landbouwer zelf doet geen bewerking van de melk. Dagelijks worden de geiten tweemaal gemolken waarbij ze aan een geautomatiseerde melkmachine worden geplaatst. Nadien wordt de machine door een automatisch programma gereinigd met drinkwater dat vervolgens geloosd wordt naar de waterzuivering. De gewonnen melk wordt opgeslagen in een gekoelde opslagtank alvorens deze 2x per week wordt opgehaald. Na ophaling wordt deze tank gereinigd met drinkwater. Nadat de geiten gemolken zijn, wordt ook de volledige ruimte gereinigd. Hiervoor wordt het gezuiverd effluent van de waterzuivering gebruikt. Bijkomend ontvangt het zuiveringssysteem ook het huishoudelijk afvalwater van de landbouwer, dit betreft een huishouden van 5 personen. Tabel 4-1 geeft een overzicht van de herkomst en hoeveelheden afvalwater. Dit resulteert in een debiet van ongeveer 2,2 m³ afvalwater per dag. Het bedrijf zet in op hergebruik van het water als spoelwater waardoor het momenteel geen afvalwater loost, noch in oppervlaktewateren, noch in de riolering.

Tabel 4-1 Overzicht van de herkomst en hoeveelheid afvalwater.

Herkomst	Volume (L)	Drinkwater	Regenwater	Gerecycleerd water
Dagelijks				
Automatische schoonmaak melkinstallatie	1000	X		
Schoonmaak van de ruimte	400			X
Huishoudelijk afvalwater	750	X	X	
Wekelijks				
Schoonmaak van de gekoelde opslagtank	400	X		

4.3 Wettelijke kaders

4.3.1 Grenswaarden voor lozing

Doordat het huishoudelijk en bedrijfsafvalwater worden gemengd, dient volgens VLAREM het volledige volume afvalwater beschouwd als bedrijfsafvalwater. Bijgevolg moeten de lozingsnormen gerespecteerd worden met betrekking tot bedrijfsafvalwater. Concreet betekent dit dat er zowel algemene, sectorale en bijzondere voorwaarden van toepassing (kunnen) zijn.

De algemene voorwaarden worden bepaald aan de hand van indelingscriteria voor gevaarlijke stoffen. Afvalwater met gevaarlijke stoffen is strenger gereguleerd. In Vlarem II bijlage 2.3.1 "Basismilieukwaliteitsnormen voor oppervlaktewater" art 3 § 4 wordt de tabel gegeven (Tabel 4-2) waarin concentraties vermeld staan vanaf wanneer bedrijfsafvalwater als gevaarlijk moet beschouwd worden. In het geval van de geitenboerderij komen er slechts twee parameters in aanmerking, met name totaal fosfor (vanaf 1 mg.L⁻¹) en nitriet (vanaf 0,2 mg.L⁻¹). Echter geldt dit voor nitriet enkel wanneer er in oppervlaktewater geloosd wordt. Vermits beide parameters in het verleden

(frequent) boven de criteriaconcentraties zaten, valt het bedrijfsafvalwater onder bedrijfsafvalwater met gevaarlijke stoffen en zijn de algemene voorwaarden van afdeling 4.2.3: “Bedrijfsafvalwater dat één of meer gevaarlijke stoffen bevat”, geldig.

Concreet zijn volgende zaken dus van toepassing op de lozing:

- Algemene lozingsvoorwaarden (pH, CZV, etc.), zie Tabel 4-2.
- De lozing van gevaarlijke stoffen (dus ook nitriet en fosfor) moet maximaal worden voorkomen
- De lozingsnormen voor stoffen in concentratie > ICGS moeten worden opgenomen worden als bijzondere voorwaarde in de omgevingsvergunning
- Bij lozing op de riolering moet rekening gehouden worden met de verwerkbaarheid van het afvalwater.

Tabel 4-2. Algemene lozingsnormen voor lozing in oppervlaktewater en riolering.

Parameter	Eenheid	Oppervlaktewaternorm	Rioleringsnorm
pH	-	6,5 – 9	6 – 9,5
BZV ₅	mg.L ⁻¹	25	-
Temperatuur	°C	< 30	< 45
Bezinkbare stoffen	mg.L ⁻¹	0,5	-
Zwevende stoffen	mg.L ⁻¹	60	1000
Zwevende stoffen (afmeting)	cm	-	1
∑ An. det., non. det., kat. det.	mg.L ⁻¹	3	-
Olie en vet	-	Niet visueel waarneembaar	-
Microbacterieel	-	Geen schadelijke pathogene kiemen	-

Doordat het bedrijf enkel instaat voor het melken van de dieren en niet voor de bewerking van melk tot bijvoorbeeld kaas, zijn er geen sectorale voorwaarden geldig met betrekking tot de lozing van het bedrijfsafvalwater. Hierdoor moeten enkel de algemene voorwaarden nageleefd worden, tenzij in de omgevingsvergunning voor de exploitatie bijzondere lozingsvoorwaarden worden/werden opgenomen.

De bijzondere voorwaarden worden opgelegd door de bevoegde instantie bij het toekennen van de omgevingsvergunning. Deze voorwaarden zullen worden bepaald in functie van de lozingswijze, het debiet en de draagkracht van het (eventueel) ontvangend waterlichaam. Hierbij werd in een document rond de afvalwaterproblematiek bij geitenboerderijen vermeld dat de streefwaarden (door het toepassen van de BBT) voor de belangrijkste parameters de volgende zijn (Tabel 4-3).

Tabel 4-3. Bijzondere voorwaarden als streefwaarden uit een BBT-studie bij geitenboerderijen (Van Eeckhoudt, 2008).

Parameter	Eenheid	Streefwaarde
Ammonium-N	mg N/l	< 5
Kjeldahl-N	mg N/l	< 6
Nitraat + Nitriet	mg N/l	< 10
Ortho-fosfaat	mg P/l	< 0,3
Totaal fosfaat	mg P/l	< 1

4.4 Technologiekeuze

4.4.1 Oplossingsrichtingen

Mogelijkheden tot uitbreiding van het huidig systeem zijn een ijzeroxide gecoat zandfilter, lagune met eendenkroos gevolgd door een schorsfilter, ionenuitwisseling of membraanfiltratie (Tabel 4-4). Deze technieken beschikken over een goede verwijdering van nutriënten, waarbij tevens hergebruik mogelijk is. In het project werd er uiteindelijk

gekozen te werken met de eendenkroos lagune en de IOCS-filter. Deze twee technieken werden geselecteerd uit de [Longlist](#) (ook ontwikkeld binnen I-QUA) op basis van robuustheid, kostprijs (CAPEX, OPEX) en duurzaamheid. Zo kan de eendenkroos aanwezige nutriënten omzetten in een hoogwaardige biomassa, die veel antioxidanten bevat. De gedroogde biomassa kan mogelijks worden gebruikt als voer voor de geiten. Er zijn in de praktijk nog maar weinig ervaringen met de teelt, de oogst en toepassing van eendenkroos. De IOCS-filter is een mooie circulaire oplossing, aangezien het filtermateriaal een restproduct is van de drinkwaterproductie (Pidpa). Bijkomend kan het hemelwater opgevangen en ingezet worden als bijkomende waterbron.

De inschatting in Tabel 4-4 is gebaseerd op een initiële inschatting bij de ontwerpfase van het project en reflecteert dus niet de finale beoordeling na afloop van het project. Expert knowledge en inschattingen en aannames die op dat moment beschikbaar waren werden gebruikt.

Tabel 4-4. Multicriteria-analyse toegepast bij zuivering geitenboerderij - Per categorie worden punten gegeven van 0 tot 5, waarbij 5 een uitstekend resultaat betekent en 0 ongeschikt is. Het eindtotaal (op 30 punten) werd bekomen door de categorieën per technologie op te tellen. Deze analyse werd uitgevoerd in de ontwerpfase van het project en was op basis van inschattingen en aannames die op dat moment beschikbaar waren.

Onderverdeling hoofdpunten	Lagune met eendenkroos	IOCS	Schorsfilter	Ionenuitwisseling	Membraanfiltratie
Investing	4	3	4	1	1
Onderhoud/bediening	2	3	3	2	2
Waterkwaliteit voor doel	3	4	2	4	4
Flexibiliteit	3	4	3	3	3
Robuustheid	2	4	3	3	3
Beeldvorming	4	3	3	3	3
Totaal	18	21	18	16	16

4.4.2 Definitieve technologiekeuze en onderbouwing

Onderbouwing keuze lagune met eendenkroos

Zoals reeds aangehaald is een lagune of kunstmatige vijver geschikt voor nutriëntenhergebruik. Dit systeem kan na de lavafilters aangelegd worden. De planten aanwezig in de lagune dienen een goede nutriëntenopnamekarakteristiek te bezitten, wat het geval is bij eendenkroos. De volgende leefomstandigheden en verwachtingen werden teruggevonden in de literatuur:

- Temperatuur met een optimale eendenkroosgroei: 28 °C.
- Geschikte pH: 6-8
- Verwachte verwijderingsefficiëntie voor TN en TP: van respectievelijk 70 en 62 %
- Verwachte stikstofterugwinning uit eendenkroos bedroeg: 60 % of 7,7 g.d⁻¹ TN teruggewonnen
- Verwachte fosforterugwinning: 51 % of 55 g.d⁻¹ TP teruggewonnen

Voor een optimale nutriëntenrecuperatie dient een ondiep bassin voorzien te worden. De systeemdimensionering is als volgt:

- Hydraulische retentietijd: 25 dagen;
- Het debiet: 3 m³.d⁻¹;
- Diepte: 0,5 m,
- Benodigde oppervlakte: 150 m².
- Aantal behandelunits: 2 bassins van 50 x 3 m of 3 bassins van 25 x 3 m

Eendenkroos kan gebruikt worden als alternatieve eiwitbron voor soja-eiwit, omdat hun eiwitgehalte behoorlijk op elkaar lijkt (ca. 35 %). Het eendenkroos dient om de 2 à 5 dagen te worden geoogst, wat deze techniek wel

arbeidsintensief maakt. Hierbij mag maximaal 50 % van het gevormde eendenkroos geoogst worden, vermits anders lichtinstraling in het water ontstaat, wat algenproductie zou teweegbrengen.

Onderbouwing keuze ijzeroxide gecoate zandkorrels

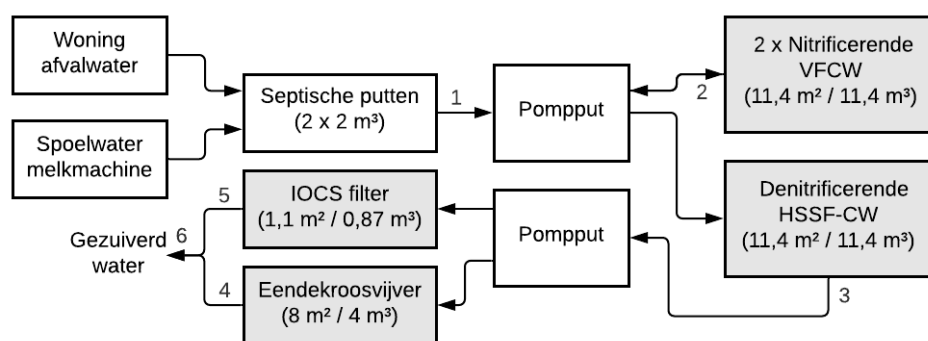
Het hergebruik van ijzeroxidekorrels is interessant, omdat deze korrels een restproduct zijn van drinkwaterbedrijven wanneer ijzer uit grondwater moet worden verwijderd. Tijdens de zuivering wordt het in het grondwater aanwezige Fe^{2+} geoxideerd tot Fe^{3+} en vormt ijzerhydroxiden ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) die op het zand neerslaan tot IOCS. Deze ijzeroxidekorrels worden periodiek verwijderd wanneer het ijzer verzadigd is. Jaarlijks wordt naar schatting 1000 ton IOCS (met een gemiddelde diameter van 2 mm) geproduceerd door de drinkwatermaatschappij Pidpa (Moelants et al, 2011). Uit eerder onderzoek bij batch en korte termijn testen bleek IOCS een sterk adsorberend vermogen voor fosfor (Moelants e.a., 2011; Vandermoere e.a., 2018). Onlangs werd een lange termijn piloottest (180 dagen) en voorlopige regeneratie van IOCS onderzocht om dichterbij full-scale engineering te komen (Statement et al, 2020). Ter aanvulling van de kennis rond de technologie, zou een full-scale decentrale demonstratie van IOCS nuttig zijn.

4.5 Pilot opzet

4.5.1 Algemene procesbeschrijving constructed wetlands

Momenteel bestaat de waterzuivering uit verschillende compartimenten. Figuur 4-2 schetst een overzicht van de volledige waterzuiveringsconfiguratie.

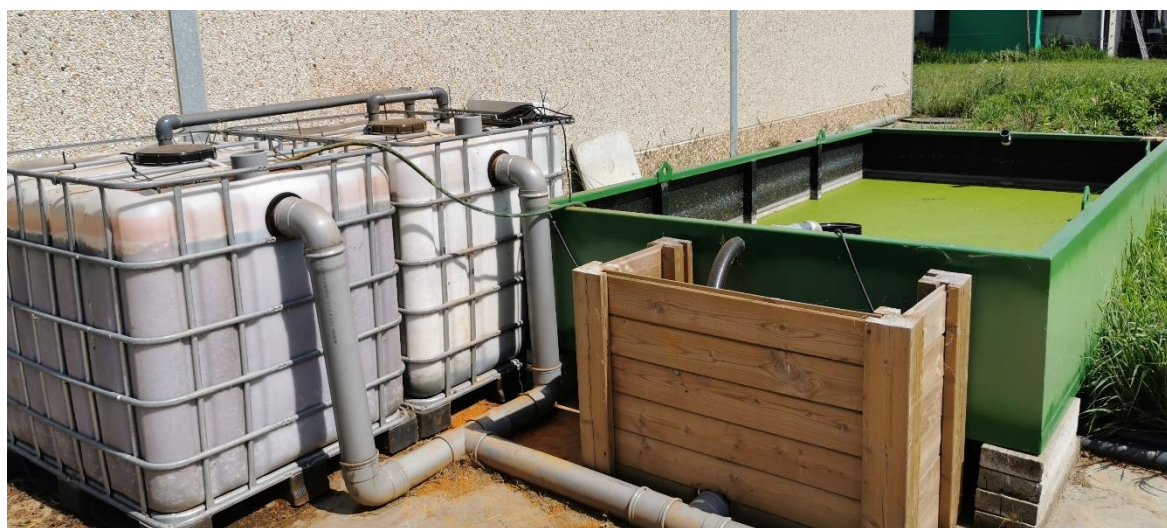
Als voorbehandeling van het influent bevinden er zich twee septische putten in serie met een volume van 2 m^3 elk waarmee de vaste fractie wordt gescheiden. Onder invloed van gravitatie stroomt het afvalwater uit de septische putten richting een pompput, met dubbel pompsysteem. Vanuit deze pompput wordt het afvalwater met intervallen naar twee parallel nitrificerende VFCW gepompt voor CZV-verwijdering en nitrificatie. Om gelijke verdeling over het volledig oppervlak van de helofytenfilter te realiseren wordt gebruik gemaakt van een verdeelsysteem met geperforeerde buizen. Het effluent van beide parallelle VFCW's wordt vervolgens gerecirculeerd terug naar de pompput, waar het wordt gemengd met het effluent van de septische tanks. Gebleken is dat recirculatie van effluent de prestaties van het systeem op het gebied van stikstofverwijdering verbetert. Het gemengde effluent van de nitrificerende VFCW's en het effluent van de septische tanks wordt naar een derde horizontale subsurface-flow CW gepompt voor denitrificatie. Alle drie de CW's hebben dezelfde afmetingen (LxBxH: $5,7 \text{ m} \times 2,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$), resulterend in een volume van $11,4 \text{ m}^3$. Beide nitrificerende VFCW waren gevuld met lavasteen (12-18 mm diameter), en de denitrificerende CW was gevuld met zand (1 mm diameter). Oorspronkelijk hield het zuiveringsproces op na behandeling door de CW's, maar om te voldoen aan de lozingsnormen moet het effluent nog verder worden gezuiverd met betrekking tot fosfor (en stikstof). Er was bijgevolg nood aan complementaire zuiveringssystemen, als polishing stap.



Figuur 4-2. Schematisch overzicht van de zuiveringsinstallatie met opvolgende polishing stappen en meetpunten (cijfers 1-6).

4.5.2 Algemene procesbeschrijving complementaire filtersystemen

Het effluent van de plantenzuivering komt terecht in een pompput, om vervolgens met behulp van een dubbel pompsysteem een periodieke aanvoer van gedenitrificeerd effluent te sturen naar zowel de eendekroosvijver, alsook naar de IOCS-filters. Beide praktische oplossingen zijn weergegeven in Figuur 4-3.



Figuur 4-3. Overzicht van de complementaire filtersystemen voor fosforverwijdering (v.l.n.r.: de IOCS-filter en eendekroosvijver).

Deze eendekroosvijver (Figuur 4-3, rechts) bestaat uit een open container (LxBxH: 4,0 m x 2,0 m x 0,5 m). Er wordt getracht om het wateroppervlak (8 m²) steeds volledig te bedekken met eendekroos (*Lemna* sp.).

De IOCS-filters (Figuur 4-3, links) werden geconstrueerd door een IBC-tank met een volume van 0,87 m³ (LxBxH: 1,13 m x 0,96 m x 0,8 m) langs de bovenzijde deels toegankelijk te maken. Langs deze opening kan het filtermateriaal gestort en vervangen worden. Het filtermedium bestaat uit een laag lavagranulaat op de bodem met dikte van ca. 0,15 m. Daar boven op een laag IOCS-korrels met een totaalgewicht van ca. 1067 kg. Voor de korrelgrootte van het IOCS-filtermateriaal wordt een gemiddelde diameter van 2 mm aangenomen (Moelants, e.a., 2011) met een dichtheid van 1250 kg/m³. Door het vullen van 1 dm³ IOCS met water bleek er een beschikbaar volume voor 375 mL water te zijn (wat overeenkomt met een porositeit van 37,5 %). Om de bevloeiing van de filter zo optimaal en gespreid mogelijk te laten verlopen, werd een regensysteem geconstrueerd uit geperforeerde buizen tegen de

bovenzijde van de IBC-tank. In de configuratie werd een inkomend debiet beoogd van $1,1 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ gespreid over twee momenten. Rekening houdend met het beschikbaar volume en de afmetingen van de IOCS-filter resulteert dit in een verblijftijd van 10 uur. Het effluent loopt via een geperforeerde buis vanop de bodem naar de afvoer bovenaan. Het finale effluent wordt vervolgens opgevangen in een reservoir om te hergebruiken bij het kuisen van de verschillende ruimtes in de boerderij. Overtollig water wordt momenteel geloosd in het oppervlaktewater.

4.6 Monitoringsprogramma

De staalnames werden uitgevoerd in de periode september 2019 tot en met oktober 2021. Hierbij werd getracht om op wekelijkse basis stalen te nemen op vastgelegde meetpunten (1 t.e.m. 6) (Figuur 4-2) in het systeem. Er werd getracht om de analyse van de bemonsterde stalen steeds dezelfde week te voltooien. Enkel zware metalen en UV-VIS werden vanwege het vele voorbereidingswerk op maandelijkse basis geanalyseerd. Stalen in afwachting van de analyse werden bewaard bij een temperatuur van 4°C .

De veldparameters (pH, temperatuur, opgeloste zuurstof, geleidbaarheid) werden met behulp van de HACH Lange field case HQ30d ter plaatse bepaald (HACH). Echter was het om praktische redenen niet steeds mogelijk het Hach-meetinstrument op locatie mee te nemen. Om die reden kon er slechts enkele malen de temperatuur en opgeloste zuurstof bepaald worden. De pH en geleidbaarheid werden bijgevolg later in het laboratorium bepaald. De turbiditeit werd steeds in het laboratorium gemeten met behulp van de HANNA HI 98703 (HANNA Instruments). De overige biologische en chemische parameters weergegeven in Tabel 4-5 werden analytisch in laboratorium bepaald, steeds uitgevoerd volgens de standaardmethoden (American Public Health Association, 2005). De stalen werden genomen op verschillende plaatsen binnen het zuiveringsproces, verduidelijkt in Figuur 4-2. Voor de maandelijkse analyse naar zware metalen (As, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Cr) werd gebruik gemaakt van het inductief gekoppeld plasma-optische emissie spectrometrie (ICP-OES) meettoestel Agilent 7000series. De gebruikte standaardoplossingen ($1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; $5 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; $10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; $25 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; $50 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; $75 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; $100 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) werden bereid volgens de standaardmethode 200.8 uit de ICP multi-element stockoplossing XIII en gedestilleerd water (U.S. EPA, 1994).

Tabel 4-5. Overzicht van de monsternamenameplaats per parameter, terug te vinden in Figuur 4-2.

Parameter	Monsternamename					
	1	2	3	4	5	6
BZV ₅	x					x
TSS	x	x	x	x	x	x
CZV	x	x	x	x	x	x
TOC	x	x				x
NH ₄ ⁺	x	x				x
NO ₃ ⁻	x	x	x	x	x	x
NO ₂ ⁻	x	x				x
TN	x	x	x	x	x	x
PO ₄ ³⁻	x	x	x	x	x	x
TP	x	x	x	x	x	x
SO ₄ ²⁻	x	x	x	x	x	x
Zware metalen	x	x	x	x	x	x

4.7 Evaluatie en resultaten

4.7.1 Afvalwaterkarakteristieken

De geitenboerderij produceerde gemiddeld $2,2 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ afvalwater, met pieken in debiet op dinsdag, donderdag en zaterdag vermits dan de melkkoeltanks gereinigd worden. Het afvalwater bestond uit een mix van huishoudelijk water (5 IE), water afkomstig van de geitenteelt en reinigingswater van de melkinstallatie. De prestaties van de CW's op de geitenboerderij werden gedurende twee jaar (sept. 2017 - sept. 2019) gemonitord voordat de complementaire systemen op volle schaal werden getest; de resultaten zijn weergegeven in Tabel 4-6.

Tabel 4-6. Meetresultaten (gemiddelden) In- en effluent van CW, voor de behandeling met de complementaire systemen (gemiddelde \pm standaarddeviatie, $n=12$).

Parameter	Eenheid	Influent	Effluent	Verwijderingsefficiëntie
pH	-	6.9 ± 0.4	7.5 ± 0.3	-
Conductiviteit	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1805 ± 240	1610 ± 165	-
Opgelost zuurstof	mg/L	0.5 ± 0.15	9.2 ± 1.1	-
Zwevend stof	mg/L	101 ± 31	29 ± 6.8	71 %
UV254	cm^{-1}	1.1 ± 0.39	0.4 ± 0.14	-
CZV	mg/L	768 ± 317	54 ± 37	93 %
Fosfaat	mg P/L	24.7 ± 8.2	16.6 ± 5.6	33 %
Totaal fosfaat	mg P/L	37.5 ± 10.1	25.5 ± 8.8	32 %
Ammonium	mg N/L	33.4 ± 15.9	1.4 ± 1.2	96 %
Nitriet	mg N/L	0.3 ± 0.22	0.3 ± 0.1	-
Nitraat	mg N/L	16.1 ± 12.2	6.6 ± 5.1	-
Totaal stikstof	mg N/L	49.1 ± 18	13.0 ± 8	74 %

Het huidige biologische systeem zorgt voor een hoge verwijderingsefficiëntie bij CZV. Mede doordat het afvalwater een hoge BZV/CZV-verhouding van $\pm 48 \%$ heeft. Qua nutriëntenverwijdering wordt een goede algemene verwijdering bekomen voor TN (gemiddelde verwijdering van 74 %), maar weinig verwijdering voor fosfaat. Deze ontoereikende fosforverwijdering is een veel voorkomend probleem bij helofytenfilters. Verdere stappen zijn bijgevolg nodig en mogelijke oplossingen hiervoor worden verder besproken

4.7.2 Complementaire filtersystemen

Polishing van het effluent uit de helofytenfilters moet instaan voor verdere fosforverwijdering. De eendenkroosvijver voldoet echter niet aan de gehoopte verwachtingen. Analyses resulteren in gemiddelde concentraties (Tabel 4-7) die slechts in kleine mate verschillen van de influentconcentraties. De verwijderingsefficiëntie van de eendenkroosvijver voor de fosfor gerelateerde parameters PO_4^{3-} en TP bedragen respectievelijk 20 en 11 %. Deze reductie volstaat niet om te voldoen aan de lozingsnorm. Bezinking van zwevende stoffen speelt waarschijnlijk een rol in de goede daling van TSS.

De IOCS-filter verwezenlijkt wel de nodige verwijdering om aan de Vlaamse normen te kunnen voldoen (en beter). De gemeten concentraties PO_4^{3-} als TP vertonen elke een daling van meer dan 99% met een effluentconcentratie van respectievelijk 0,09 en 0,16 mg P.L⁻¹. Op het vlak van andere parameters is er een verdere daling van TSS en draagt IOCS bij tot 33% CZV-verwijdering uit het effluent van CW. De verwijdering bij een deel van de UV₂₅₄ toont aan dat het resterende opgeloste organische stof deels wordt verwijderd door de korrelreactor. Er wordt echter slechts weinig stikstofverwijdering waargenomen door de IOCS, maar dat werd ook niet verwacht.

Tabel 4-7. Overzicht van de gemiddelde concentraties en verwijderingspercentage per parameter voor de complementaire filtersystemen (NB: niet beschikbaar).

Parameters	Eenheid	Eendenkroosvijver		IOCS	
		Concentratie	Verwijdering (%)	Concentratie	Verwijdering (%)
pH	-	8,1 ± 0,6	-	7,5 ± 0,4	-
EC	μS.cm ⁻¹	1328 ± 548	18	1472 ± 224	9
Opgelost zuurstof	mg.L ⁻¹	8,5 ± 1,9	-	1,9 ± 0,9	-
TSS	mg.L ⁻¹	5,1 ± 3,5	76	5,3 ± 11,4	75
UV ₂₅₄	-	0,79 ± 0,52	-24	0,3 ± 0,3	44
CZV	mg.L ⁻¹	61,1 ± 46,3	-35	30,0 ± 16,3	33
Fosfaat	mg P.L ⁻¹	25,3 ± 3,1	20	0,1 ± 0,1	99,7
TP	mg P.L ⁻¹	27,5 ± 6,5	11	0,2 ± 0,1	99,5
Ammonium	mg N.L ⁻¹	0,58 ± 0,81	54	0,9 ± 0,7	31
Nitriet	mg N.L ⁻¹	3,3 ± 2,4	8	1,2 ± 0,6	68
Nitraat	mg N.L ⁻¹	1,6 ± 1,3	44	5,2 ± 6,3	-83
TN	mg N.L ⁻¹	24,5 ± 20,0	-35	14,4 ± 16,5	20

4.8 Onderhoud & kosten

Er is voor de pilot Biologische geitenboerderij bij Lochristi geen inschatting bekend van de kosten voor aanleg of onderhoud.

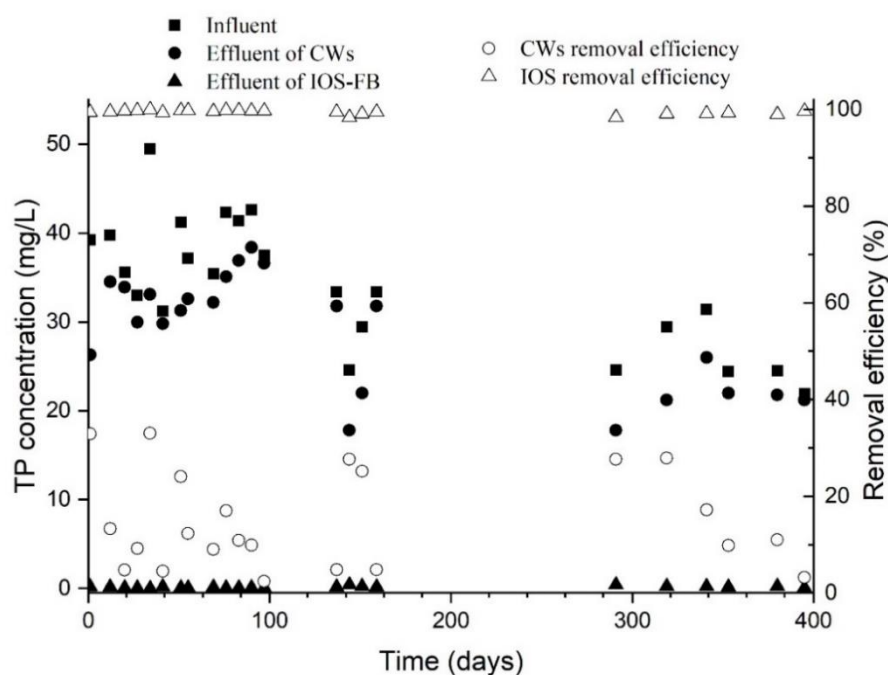
4.9 Reflectie en leerpunten

Voor de helofytenfilters lijken de reducties van ZS, BZV, CZV en stikstof gerelateerde parameters de beoogde resultaten te behalen. Aan de constructie hoeft bijgevolg weinig gewijzigd te worden. Wat betreft de monitoring lijkt het interessant om na te gaan wat de gemiddelde verblijftijd (inclusief recirculatie) van het water in de nitrificerende VFCW-systemen is. Momenteel is het niet geweten hoe vaak het water wordt gerecirculeerd alvorens het door de denitrificerende CW wordt gestuurd.

De eendenkroosvijver fungeerde ondermaats in de verdere verwijdering van de nutriënten uit het effluent van de helofytenfilters. Met slechts een gemiddelde TP-verwijdering rond de 20%, worden lozingsnormen hiervoor niet gehaald. Het toepassen van de techniek kan mogelijks worden verbeterd onder een meer optimaal klimaat (~28 °C) en bij een verlaging van de hoogte van het bassin, aangezien het eendenkroos zich enkel bevindt in de toplaag van de lagune (dus vergroten wateroppervlakte ten opzichte van watervolume). Omwille van het ondermaatse resultaat werd niet verder ingegaan op het concept om als geitenvoeder te dienen.

Het mogelijke TP-verwijderingsrendement met IOCS werd wel aangetoond tot meer dan 99% te kunnen bedragen, met een consistent TP-concentratie in het effluent van minder dan 0,3 mg/L. De IOCS-korrelreactor presteerde goed gedurende 400 dagen (zelfs beter dan de voorspelde 292 dagen, berekend op basis van uitgevoerde batch labotesten waarbij de adsorptiecapaciteit werd bepaald) en bewees zijn potentieel voor gedecentraliseerde afvalwaterzuivering op lange termijn, zie Figuur 4-4. Wegens beperkingen van Covid-19 werden geen stalen genomen tijdens de middelste 150 dagen van de demonstratie, maar de geitenboerderij werkte zoals gewoonlijk en er is geen reden om aan te nemen dat het geïntegreerde systeem zich tijdens deze periode anders heeft gedragen. Deze succesvolle demonstratie van IOCS voor fosforverwijdering tijdens decentrale zuivering draagt bij aan de duurzaamheid van dergelijke systemen in termen van hergebruik van restproduct (uit drinkwaterproductie sector) als substraat en hoge fosforverwijderingsefficiëntie in vergelijking met andere substraten (Marcelino e.a., 2020; Yuan e.a., 2020; Zhou e.a., 2018). Bovendien kan de fosfor worden gerecupereerd wanneer de gebruikte IOCS

overgebracht wordt naar sterk alkalische omstandigheden. Onder deze condities komt P terug vrij uit de IOCS. De terugwinefficiëntie van P nam toe met toenemende concentratie van NaOH en KOH, waarbij KOH de betere prestaties liet zien in de terugwintest. Het P in de IOCS is als zodanig vatbaar voor efficiënte desorptie (met behulp van 0,5-1 M KOH), wat het potentieel ervan betekent om bijgevolg te dienen als P-meststof. Omwille van de goede resultaten en het duurzaam principe van het IOCS-hergebruik, werd een akkoord gevormd tussen drinkwaterproducent Pidpa en HelloWater, waarbinnen HelloWater dit concept verder zal onderzoeken en commercialiseren.



Figuur 4-4. Verwijderingsefficiëntie voor TP door het IOCS-afvalwaterzuiveringssysteem gedurende 400 dagen (sept. 2019 - okt. 2020). Verschil tussen de dagen 160-280 wegens gebrek aan stalen door beperkingen van Covid-19.

4.10 Conclusies en vervolg

Woonhuizen en bedrijven in het buitengebied zijn een welgekend probleem om aan afvalwaterzuivering te voorzien, aangezien ze vaak niet kostenefficiënt zijn om te connecteren aan het rioolnetwerk. In deze case werd een afvalwaterbehandeling bij een geitenboerderij verder uitgewerkt, om zowel het huishoudelijk afvalwater van de woning als spoelwater van de melkmachines te zuiveren tot loosbaar water. Nitrificerende en denitrificerende helofytenfilters waren reeds aanwezig, toch voldeed het water nog niet aan de lozingsnormen, aangezien fosfor amper verwijderd werd. Om die reden werden innovatieve complementaire zuiveringssystemen toegevoegd. De eendenkroosvijver werd tijdens de looptijd van het project bijgestuurd, maar heeft gedurende de onderzoeksperiode weinig capaciteit getoond. Met een verwijdering van maximaal 20 % voor TP voldoet het effluent niet aan de lozingsnormen. Dit komt omdat het eendenkroos niet de ideale groeiomstandigheden heeft gekend, wat te wijten is aan het koelere klimaat in België. De efficiëntie van de IOCS-filter werd door dit onderzoek wel bevestigd. De IOCS-filter toonde 99 % TP-verwijderingsefficiëntie en de TP-concentratie in het effluent bedroeg minder dan $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ gedurende een monitoringperiode van iets meer dan één jaar. Er kan dan ook geconcludeerd worden dat IOCS een veelbelovend, ecologisch substraat is dat kan uitgerold worden en ingezet als robuuste

decentrale afvalwaterzuiveringstap voor verbeterde P-verwijdering. Meer informatie is terug te vinden in Zhang et al (2022).

4.10.1 Toekomst

Door de lage opbrengsten en de hoge operationele kosten is samen met de eigenaar van de geitenboerderij besloten om de eendenkroosvijver weg te halen. Het IOCS-filter was een testopstelling en is alleen voor de pilot geplaatst. Deze is na afronding van de testen verwijderd.

5 Voetbalvereniging HVCH (Heesch)

5.1 Toelichting pilot

De doelstelling van deze pilot was om nieuwe afvalwatertechnologieën voor het buitengebied te testen op het afvalwater van voetbalvereniging HVCH in Heesch, en mogelijke terugwinning van grondstoffen te onderzoeken. Hiermee wordt ervaring opgedaan waarop toekomstige keuzes voor doelmatige omgang met afvalwater in het buitengebied kunnen worden gebaseerd. In de pilot is de behandeling getest en gemonitord van zwartwater van toiletten, grijswater van de kantine, urine van waterloze urinoirs en grijswater van de douches.

De locatie is geselecteerd omdat het clubhuis van HVCH in de aanloop van het project werd vernieuwd. Hierdoor ontstond een kans om de inzameling van het afvalwater anders in te richten. Tijdens de nieuwbouw is de infrastructuur voor inzameling en transport van het toiletwater, urine van waterloze urinoirs, afvalwater van de kantine en water van de douches zo aangepast dat dit apart wordt ingezameld en getransporteerd. De beschikbare afvalwaterstromen, de beschikbare ruimte en de bereidheid van HVCH boden een unieke kans voor het I-QUA project om technologische alternatieven voor omgang met het afvalwater in het buitengebied te testen.

Tegenover HVCH, aan de Binnenweg, waren tijdens de opzet van het I-QUA project enkele woningen in aanbouw. Het afvalwater van een deel van de woningen zou op de vacuümpot bij HVCH geloosd gaan worden (Binnenweg 16a, 16b, 16c en 18). Tijdens de opzet van de pilot is daarom besloten om het afvalwater van deze woningen ook te zuiveren. Het grote voordeel hiervan is dat er een relatief constante gemengde huishoudelijk afvalwaterstroom zou ontstaan die representatief zou zijn voor andere locaties in het buitengebied. De resultaten van de pilot konden daardoor breder toepasbaar zijn.

5.1.1 Verschil in pilotontwerp en pilotaanleg

Tijdens de opstart kwam men tot de ontdekking dat de pilot op verschillende aspecten anders is aangelegd dan oorspronkelijk ontworpen.

De woningen zijn om onduidelijke redenen gedurende de bouw niet op de zuiveringsinstallatie aangesloten. Hier kwam men pas achter bij opstart van de MBR. HVCH was vanwege de COVID-19 pandemie een aantal keer gesloten, maar produceerde nog steeds zeer beperkt afvalwater. Het was de verwachting dat de woningen wel afvalwater zouden produceren, maar niet zo weinig. Onderzoek wees vervolgens uit dat de woningen helemaal niet waren aangesloten op de pilot. Dit is na de ontdekking ook niet meer aangepast, omdat de aanwezige mantelbuizen (en dus ook rioolleidingen) qua hoogte niet aansloten konden worden.

Tijdens de start van de pilot bleek ook dat het grijswater van de kantine (keukenwater) niet was aangesloten op de Phytoparking, maar op de MBR (bron van water tijdens COVID-19). Als gevolg hiervan heeft de Phytoparking alleen grijswater van de douches behandeld tijdens de pilot, en heeft de MBR naast het zwartwater van de toiletten ook grijswater (keukenwater) van de kantine behandeld. Men kwam tot deze ontdekking omdat de Phytoparking tijdens opstart zeer grote hoeveelheden water te verwerken kreeg. Dit was veel meer dan verwacht. Vermoed werd dat er een hemelwaterafvoer op het grijswaterriool aangesloten was, maar rookproeven toonden aan dat dit niet het geval was. Wel bleek toen dat de kantine niet op de Phytoparking, maar op de MBR was aangesloten. Dit is naderhand niet meer aangepast.

Tijdens de sluitingen van HVCH bleef er afvalwater bij de bufferput van de Phytoparking binnenstromen. De grote hoeveelheid (afval)water had dus een andere oorzaak, echter is deze niet gevonden. Hierbij wordt opgemerkt dat er ook beperkt onderzoek naar is gedaan.

De MBR en Phytoparking zijn ontworpen voor afvalwater van respectievelijk de woningen en kantine. Deze zijn opgenomen als uitgangspunten voor het ontwerp, en om die reden ook zo opgenomen in dit rapport. De beschrijving van de pilot is geüpdatet naar de werkelijke situatie, zoals deze is aangelegd (dus zonder woningen en met kantine op MBR).

Ontwikkeling en bouw: medio 2017 tot medio 2019

Monitoringsperiode: begin 2020 tot eind 2021

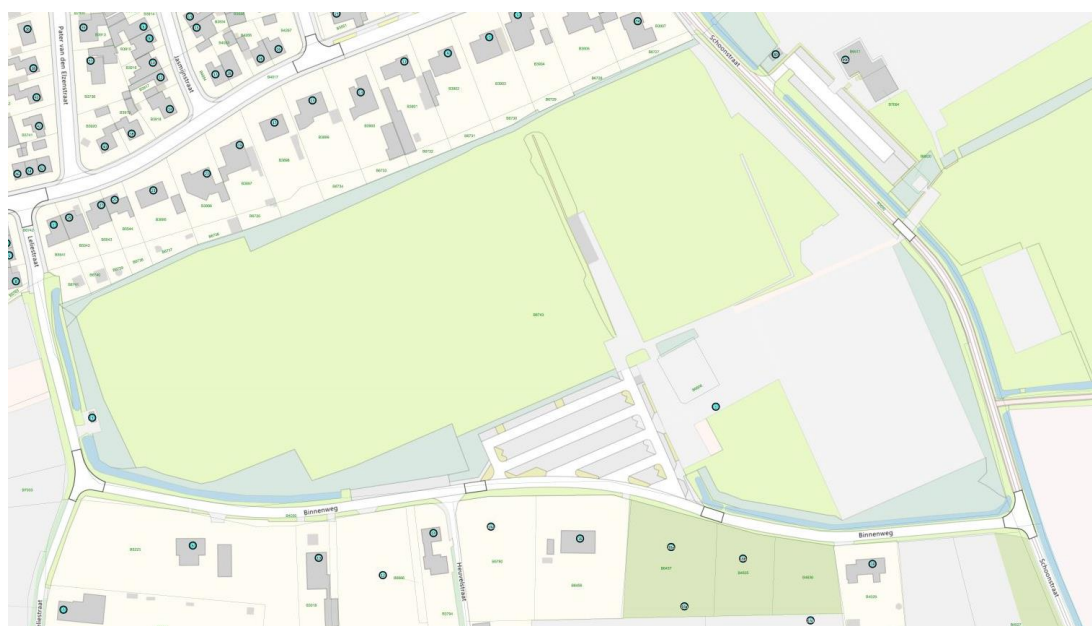
Huidige status (maart 2022): Functionerend en wordt gedurende nog twee jaar gemonitord en in verschillende configuraties getest. Daarna inzet op een andere, nog nader te bepalen, locatie.

Toegepaste technieken:

- Membraan Bioreactor (MBR)
- Phytoparking
- Ozoneren van urine

5.2 Situering

Het sportcomplex van voetbalvereniging HVCH (Heesch Voetbal Club Heesch), een voetbalclub met 1500 actieve leden, ligt in het buitengebied van Bernheze aan de Binnenweg (Figuur 5-1).



Figuur 5-1. Kaart van HVCH aan de binnenweg, met sportvelden. De 4 percelen rechts onder (nummers 16a, 16b, 16c en 18) zijn de woningen die ook meegenomen zijn in het ontwerpproces (bron: Gemeente Bernheze).

Het afvalwater in dit gebied wordt met een vacuümriolering afgevoerd. De capaciteit van het rioolstelsel wordt maximaal benut, terwijl er in het gebied ook meer woningen worden gebouwd. Tijdens de projectfase bleef de site aangesloten op de riolering, waardoor het gezuiverd afvalwater en de nevenstromen van de pilotinstallatie alsnog via de riolering werden afgevoerd. De achterliggende onderzoeksvraag was echter of met de lokale zuiveringsinstallatie een voldoende effluentkwaliteit kon worden bereikt om het gezuiverd afvalwater lokaal te lozen, wat een rioolaansluiting overbodig zou maken. Door HVCH van het riool af te koppelen zou er meer ruimte voor andere lozers ontstaan, en worden investeringen voor een groter rioolstelsel mogelijks vermeden.

Het sportcomplex produceert verschillende afvalwater stromen, grijswater van douches en de kantine, zwartwater van de toiletten en geel water van de waterloze urinoirs. Er wordt 4 tot 5 dagen per week getraind, en er zijn 1-2 wedstrijddagen per week. Een deel van de spelers doucht en maakt gebruik van de toiletten en urinoirs. De kantine, waar spoelwater van de afwas wordt geproduceerd, is 4 dagen in de week geopend. Naast het afvalwater van HVCH is de pilot ook ontworpen om het afvalwater van de 4 nabijgelegen woningen te zuiveren.

5.3 Wettelijke kaders

De wettelijke kaders zijn in medio 2018 door LeAF, in samenwerking met Gemeente Bernheze, Waterschap Aa en Maas, en Omgevingsdienst Brabant Noord (ODBN) in kaart gebracht. Oorspronkelijk was hergebruik van het gezuiverde afvalwater voor irrigatie, infiltratie, of lozing in een oppervlaktewater voorzien.

Aangezien de technologie nog niet bewezen was, en de volksgezondheid niet in gevaar gebracht mocht worden, is in een vroeg stadium collectief besloten om het gezuiverde afvalwater niet in te zetten om de velden van HVCH mee te bevoeien. Vervolgens is onderzocht of een lozing op of in de bodem of op een oppervlaktewater mogelijk zou zijn.

Gedurende een aantal overleggen is gebleken dat een vergunning voor lozing op een niet-aangewezen oppervlaktewater niet mogelijk was. De voornaamste reden hiervoor was dat er onvoldoende praktijkgegevens beschikbaar waren om aan te tonen dat de technologieën in de pilot het water voldoende zouden zuiveren (ofwel, voldoen aan de grenswaarden voor lozing).

Daarnaast bleek tijdens het proces dat het beoogde lozingspunt niet met zekerheid kon worden aangemerkt tot oppervlaktewater lozing. Om dit met zekerheid te kunnen bepalen zou additioneel uitzoek- en afstemwerk tussen gemeente, waterschap en ODBN nodig zijn. Bodemonderzoeken om verontreinigingen uit te sluiten en het aantonen van de infiltratiecapaciteit van het lozingspunt zouden hier deel van uit maken. De bijbehorende kosten en tijdsinvestering waren niet voorzien in dit project. Hier wordt in het vervolgtraject van de pilot wel onderzoek naar gedaan (zie ook § 4.10.1).

Bovendien zijn op de voetbalclub ook veel jonge kinderen aanwezig. Dit was doorslaggevend om te besluiten dat het gezuiverde afvalwater van de pilot op het bestaand riool zou worden geloosd. Op die manier wordt contact met afvalwater vermeden, en is er geen risico voor de volksgezondheid of omgevingskwaliteit in het geval een technologie in storing zou treden.

De grenswaarden voor een eventuele lozing zijn wel uitgezocht om de doelstellingen voor de effluentkwaliteit en de te analyseren parameters tijdens de monitoring vast te stellen.

5.3.1 Doelstelling effluentkwaliteit

Het effluent van de pilot bij HVCH dient te voldoen aan de grenswaarden voor lozing. Lozingen op oppervlaktewater zijn net als bodemlozingen geregeld in de Waterwet, de Wet milieubeheer en de drie AMvB's ('Besluit lozen afvalwater huishoudens', 'Activiteitenbesluit' en 'Besluit lozingen buiten inrichtingen'). Tabel 5-1 geeft de grenswaarden weer voor lozen in een oppervlaktewaterlichaam en op of in de bodem, op basis van [artikel 3.5](#) 'Activiteitenbesluit milieubeheer' en [artikel 3.6](#) van het 'Besluit lozingen buiten inrichtingen'.

Tabel 5-1. Grenswaarden voor lozen in een oppervlaktewaterlichaam, in mg/l op basis van het Activiteitenbesluit en Blbi (vetgedrukte waarden zijn uitgangspunten voor pilot).

Parameter	eenheid	Lozen in een niet aangewezen oppervlaktewaterlichaam		Lozen in een aangewezen* oppervlaktewaterlichaam, of bodem	
		Representatief etmaalmonster	Steekmonster	Representatief etmaalmonster	Steekmonster
BZV	mg/l	20	40	30	60
CZV	mg/l	100	200	150	300
Onopgeloste stoffen	mg/l	30	60	30	60
Totaal stikstof	mgN/l	30	60	-	-
Ammoniumstikstof	mgN/l	2	4	-	-
Fosfor totaal	mgP/l	3	6	-	-

* Een aangewezen oppervlaktewaterlichaam is een oppervlaktewater dat met het oog op lozen geen bijzondere bescherming behoeft. Zie [artikel 1.7](#), eerste lid, onderdeel b, van het Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer.

Bij het lozen op oppervlaktewater is het van belang of het ontvangende oppervlaktewaterlichaam wordt aangemerkt als kwetsbaar of niet. Een aangewezen oppervlaktewaterlichaam is een oppervlaktewater dat met het oog op lozen geen bijzondere bescherming behoeft ([artikel 1.7](#), eerste lid, onderdeel b, van het 'Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer'). Met andere woorden, een aangewezen oppervlaktewaterlichaam heeft minder strenge grenswaarden dan een niet aangewezen oppervlaktewaterlichaam. Dit impliceert ook dat een oppervlaktewater standaard als een niet aangewezen oppervlaktewaterlichaam wordt gekenmerkt, tenzij expliciet wordt aangegeven dat het milieu geen schade van de lozing met minder strenge grenswaarden zal ondervinden.

Wel kan het bevoegde gezag (in dit geval het waterschap) op basis van het zevende en achtste lid van [artikel 3.6](#) 'Besluit lozen buiten inrichtingen' en het vierde lid van [artikel 3.5](#) 'Activiteitenbesluit milieubeheer' afwijken van de waarden in Tabel 5-1 door middel van een maatwerkvoorschrift. Dit is bij het vaststellen van de doelstellingen voor de pilot niet meegenomen.

Voor de pilot bij HVCH is ervan uitgegaan dat het een effluent moet produceren dat ten minste voldoet aan de grenswaarden voor lozing op een niet aangewezen oppervlaktewater. De grenswaarden van de tweede en derde kolom in Tabel 5-1 zijn dus geselecteerd als uitgangspunt voor de te behalen effluentkwaliteit.

Tijdens het opstellen van de doelstellingen is ook besproken dat deze lozingsnormen in de toekomst strenger kunnen worden. De kwaliteit van veel oppervlaktewaterlichamen in Nederland moet verbeteren, en hogere zuiveringsrendementen spelen hier een belangrijke rol. Tevens is verwijdering van microverontreinigingen, pathogenen en antibioticaresistente bacteriën een onderwerp dat hoog op de politieke en maatschappelijke agenda staat. Door de technologieën te evalueren aan strengere lozingseisen zou toekomstige toepassing hiervan in een grotere context mogelijk gemaakt kunnen worden, en zijn de resultaten toekomstbestendiger.

[Artikel 3.5e](#), vierde lid in het 'Activiteitenbesluit milieubeheer' geeft de grenswaarden weer voor een zuiveringstechnische werk dat afvalwater met een vervuilingswaarde van meer dan 100.000 vervuilingseenheden behandelt (met andere woorden, een grote RWZI). Indien het zuiveringstechnische werk afvalwater met minder dan 100.000 v.e., maar meer dan 2.000 v.e. behandelt zijn de grenswaarden voor BZV, CZV en onopgeloste stoffen gelijk, maar de grenswaarden voor totaal stikstof en totaal fosfor zijn respectievelijk 15 mg N per liter en 2 mg P per liter.

Tabel 5-2. Grenswaarden voor lozingen door een zuiveringstechnische werk dat afvalwater met een vervuilingswaarde groter dan 100.000 v.e. behandelt.

Parameter	Eenheid	Grenswaarde in etmaalmonster	Grenswaarde als voortschrijdend jaargemiddelde
BZV	mg/liter	20	
CZV	mg/liter	125	
Onopgeloste stoffen	mg/liter	30	
Totaal stikstof	mg N/liter		10
Totaal fosfor	mg P/liter		1

Het zevende lid van [artikel 3.5e](#) van het Activiteitenbesluit geeft ruimte voor het verantwoordelijke waterschap (of de gemeente indien deze verantwoordelijk is) om de grenswaarden voor fosfaat en stikstof te verhogen als er minder dan 20.000 ie wordt gezuiverd. Besloten is dat de grenswaarden genoemd in Tabel 5-2 worden beschouwd in relatie tot de resultaten van het monitoringsprogramma, om te bepalen in hoeverre aan deze waarden kan worden voldaan in aanvulling op de waarden in Tabel 5-1.

5.3.2 Hergebruik van grondstoffen uit afvalwaterstromen (urine)

Binnen het project zijn de mogelijkheden onderzocht om met ozon behandelde urine toe te passen als meststof, onder andere met de OBDN en InfoMil. De uitkomst van dit traject is dat de urine niet als meststof toegepast mocht worden.

Huishoudelijk afvalwater bestaat uit urine, fecaliën, spoelwater en overig afvalwater. Omdat huishoudelijk afvalwater in de Wet Milieubeheer ([artikel 1](#) en [artikel 10.29a](#)) wordt aangemerkt als afvalstof mag deze niet worden gebruikt als meststof ([artikel 5 eerste lid](#) van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet). Individuele stromen (urine, spoelwater en fecaliën) zijn onderdeel van huishoudelijk afvalwater en worden ook als afvalwaterstroom waarvan de gebruiker zich wil ontdoen aangemerkt. Daarom vallen individuele stromen ook in de categorie afvalstof. Ze mogen dus ook niet als meststof worden gebruikt, of worden toegevoegd aan bijvoorbeeld compost of dierlijke mest.

Tijdens het proces is besloten om alleen ervaring met urinebehandeling op te doen en gedurende de pilot te bepalen of een einde-afvalstatus (en dus hergebruik) mogelijk is, of dat er andere handelingen nodig zijn.

5.3.3 Omgevingsvergunning

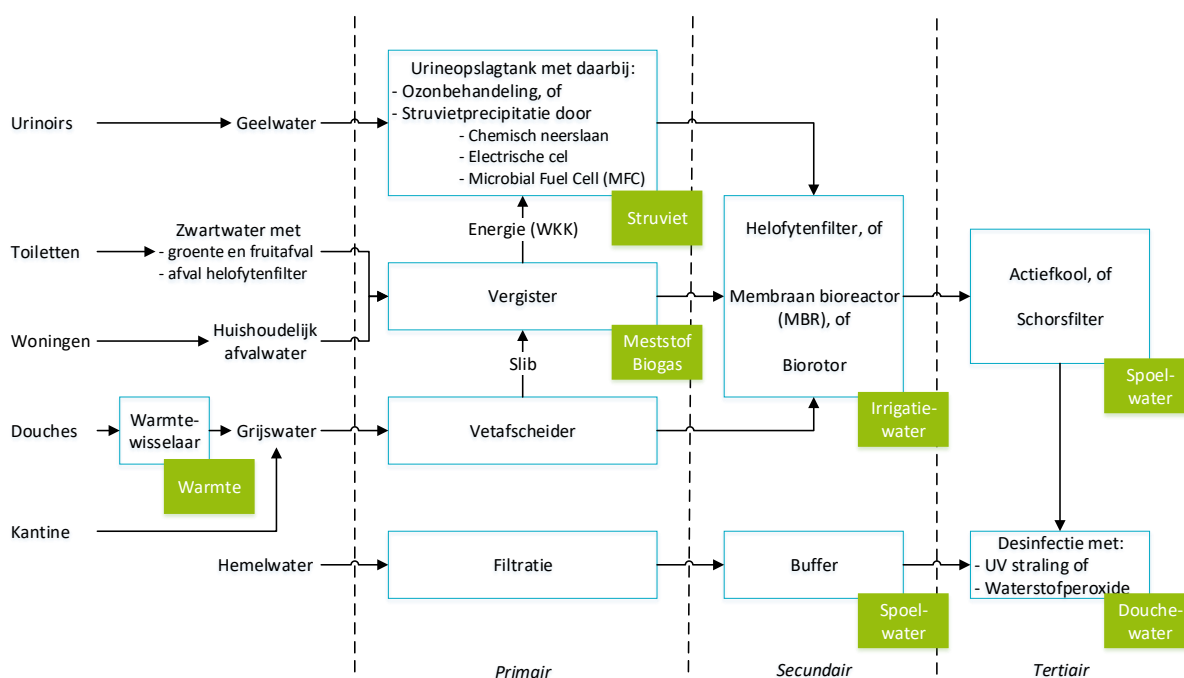
Voor veel activiteiten met betrekking tot behandeling van afvalwater is een omgevingsvergunning nodig. Na toetsing hiervan bleek dat er geen omgevingsvergunning nodig was voor de gehele pilot. Het aanpassen van bestaande riolering en het leggen van nieuwe riolering op het terrein evenals het plaatsen van verschillende tanks

en putten, en het aanleggen van de Phytoparking (ook ondergronds), waren activiteiten die niet onder de omgevingswet vallen. Wel bleek een tijdelijke omgevingsvergunning nodig voor het plaatsen van een container omdat dit niet in het huidige bestemmingsplan past. Deze tijdelijke omgevingsvergunning is aangevraagd en verleend. De vergunning is gedurende de monitoringsfase verlengd zodat het project goed kon worden afgesloten.

5.4 Technologiekeuze

5.4.1 Oplossingsrichtingen

Het proces om tot een technologiekeuze te komen is gestart met het maken van een shortlist van innovatieve afvalwatertechnologieën (Figuur 5-2), uitgevoerd door UGent. De terugwinning van grondstoffen (energie en nutriënten) was hiervoor een belangrijk selectiecriteria.



Figuur 5-2. Technologieën beschreven in de shortlist voor HVCH. De terug te winnen grondstoffen zijn in groen weergegeven (bron: UGent)

Een aantal technologieën beschreven in Figuur 5-2 zijn niet meegenomen in het verdere keuzeproces omwille van de volgende redenen:

- De vetafscheider bij de kantine is wettelijk verplicht, dus verdere overwegingen waren niet nodig;
- De warmtewisselaar viel buiten de scope van de gemeente omdat energierugwinning geen doel van deze pilot was;
- De vergister is niet meegenomen omdat het weinig biogas zou opleveren (€132/jaar), het digestaat afgevoerd of met kostbare technologie lokaal behandeld zou moeten worden, en de ingeschatte investeringskosten ten opzichte van de verwijderingsrendementen en teruggewonnen grondstoffen te hoog bleken.

Op basis van de shortlist is vervolgens door de gemeente een Multi Criteria Analyse (MCA) uitgevoerd. Dit is per zuiveringsstap (primair, secundair en tertiair) gedaan. Elke technologie heeft per criterium een score gekregen. Door deze score met een toegekende wegingsfactor (Tabel 5-3) te vermenigvuldigen en de producten hiervan op

te tellen is er per technologie een eindscore bepaald (Tabel 5-4). Bijlage 1 bevat een overzicht van de opbouw van de verschillende scores.

Tabel 5-3. MCA-criteria en weging per zuiveringsstap, voor technologieselectie van de HVCH-pilot.

	Primair (urine)	Secundair	Tertiair
Investering	5	5	4
<i>Eenvoud/ complexiteit</i>	4	4	4
<i>bedrijfsvoering</i>	3	4	3
<i>Oppervlakte</i>	n/a	3	n/a
<i>energieverbruik</i>	3	3	3
<i>milieubelasting (80% = energie en chemicaliën)</i>	4	3	3
Onderhoud	4	4	4
<i>Hoeveelheid slib</i>	1	n/a	n/a
<i>Bereikbaarheid</i>	3	3	3
Waterkwaliteit voor doel/ volgende zuiveringsstap	5	5	5
<i>Milieubelasting organische microverontreinigingen</i>	3	n/a	n/a
<i>Veiligheid omgeving</i>	3	n/a	n/a
<i>waterverlies</i>	3	3	3
Flexibiliteit	3	3	4
<i>Aanpasbaarheid</i>	4 ¹	3 ²	4 ³
Robuustheid	4	4	4
<i>Invloed watertemperatuur</i>	3	3	3
<i>invloed urinekwaliteit (verduunning)</i>	2	n/a	n/a
<i>Invloed waterkwaliteit (ZS en OS-concentraties)</i>	n/a	3	3
Beeldvorming	3	3	3

1. Volume/procesvoering
2. Bedrijfsvoering m.b.t. waterkwaliteit
3. Verandering aan installatie

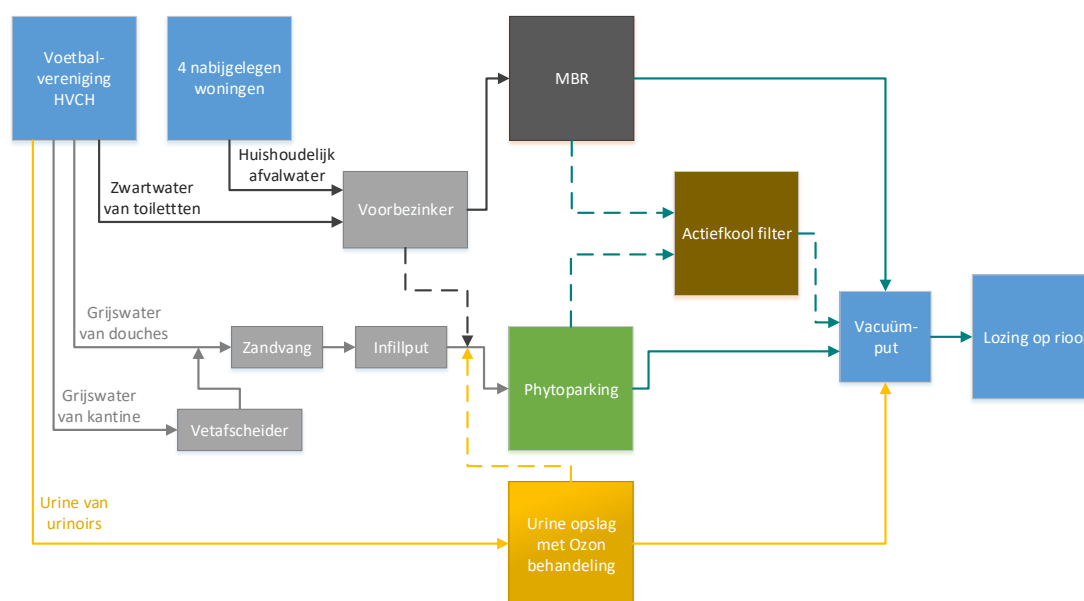
Tabel 5-4. MCA-resultaten als som van de gewogen scores per technologie van de HVCH-pilot.

	MCA-resultaat
Primair (urine)	
<i>Urineopslag</i>	201
<i>Urineopslag met ozon</i>	217
<i>Urineopslag met struvietprecipitatie (chemisch neerslaan)</i>	196
Secundair	
<i>Helofytenfilter</i>	188
<i>MBR met UF</i>	171
<i>Biorotor</i>	174
Tertiair	
<i>Actiefkool</i>	182
<i>Schorsfilter</i>	205
<i>Desinfectie</i>	179

De uitkomsten van de MCA zijn voorgelegd aan een aantal experts tijdens een I-QUA expertmeeting (21 maart 2018). De ontvangen feedback is vervolgens als input gebruikt om de definitieve technologiekeuze te maken.

5.4.2 Definitieve technologiekeuze en onderbouwing

Op basis van de expertmeeting is vervolgens een definitieve technologiekeuze gemaakt. Dit is gedaan door Gemeente Bernheze in samenwerking met verschillende adviseurs (JDop rioleringsadvies, LeAF en BKH Water). Figuur 5-3 toont een schematisch overzicht van het definitieve ontwerp.



Figuur 5-3. Stroomschema met definitieve technologieën voor de I-QUA pilot bij HVCH. De onderbroken lijnen zijn mogelijke verbindingen tussen technologieën zodat verschillende configuraties getest kunnen worden. De basis-configuratie bestaat uit de ononderbroken lijnen. (Bron: LeAF - concept Eindrapport I-QUA-Opzet, monitoring, evaluatie, reflectie en leerpunten. 26 okt 2021)

Onderbouwing keuze MBR

De MCA voor de secundaire zuiveringsstap betrof een helofytenfilter, een MBR en een Biorotor. Uit de vergelijking kwam een helofytenfilter als beste techniek, met daarna de Biorotor en dan de MBR. Een MBR scoorde lager vanwege de complexere bedrijfsvoering, het benodigde energieverbruik, beheers- en onderhoudsaspecten en beeldvorming. Het afvalwater van de huishoudens zou ook met een helofytenfilter, of klein actief slib systeem met helofytenfilter voor nazuivering, gezuiverd kunnen worden. Echter is besproken dat dit al op verschillende plekken in Nederland gebeurt, dus niet innovatief is en niet veel zal toevoegen aan de doelstellingen van het I-QUA project. Het nadeel van de Biorotor was dat dit het water niet volledig zou zuiveren (dus een andere nazuivering zou nodig zijn), dat het veel mechanische onderdelen bevatte, en relatief groot was. Dit laatste werd een nadeel bevonden voor de inzetbaarheid elders als de pilot bij HVCH was afgerond. Een MBR werd al op grotere schaal ingezet om afvalwater te behandelen. Echter was dit nog niet op de relatief kleine schaal van HVCH, met zwartwater, gedaan. Het voorziene volume zwartwater werd, samen met het huishoudelijke afvalwater, als voldoende geacht om een goede pilot met een MBR te kunnen uitvoeren. Daarnaast kon de MBR in een container geplaatst worden, waardoor het ook op andere plekken inzetbaar werd. Zo zou het na de duur van de pilot op andere plekken in het buitengebied kunnen worden ingezet. Bijvoorbeeld als tijdelijke zuivering bij een grote lozer, of als zuivering in gebieden met

weinig ruimte. Om deze redenen is besloten om het huishoudelijk afvalwater samen met het zwartwater in de MBR te behandelen.

Onderbouwing keuze Phytoparking

De Phytoparking is gedurende het keuzeproses als nieuw type helofytenfilter op de markt geïntroduceerd. Dit is een belucht helofytenfilter dat ook als parkeerplaats voor auto's zou kunnen dienen. Ten opzichte van conventionele helofytenfilters werd de Phytoparking gepresenteerd als ruimtebesparend (tot 75% minder benodigd oppervlak), en het kunnen combineren van verschillende functies (afvalwaterzuivering en parkeerplaats). Gezien de innovatie, omdat het nog niet in Nederlandse praktijkomstandigheden was toegepast, en er weinig bekend is over de zuiveringsresultaten, is de Phytoparking geselecteerd als interessante technologie om te testen.

Gedurende het proces is besloten is om de Phytoparking in eerste instantie alleen met het grijswater te testen. De motivatie hiervoor was dat er zo verschillende technologieën getest kunnen worden (Phytoparking op grijswater, en MBR op huishoudelijk afvalwater), de kosten lager uitvielen en er niet openbaar aanbesteed hoefde te worden (want een Phytoparking voor grijswater is kleiner dan een Phytoparking voor huishoudelijk afvalwater en zwartwater) en er toch een toekomstbestendige maatregel voor het buitengebied zou worden getest. Door alleen het grijswater lokaal te behandelen wordt namelijk een redelijk volume van het vacuümriool af gehaald (~75%) terwijl de kleinere zwartwaterfractie, met daarin het merendeel van de nutriënten, pathogenen, medicijnresten en de helft van de CZV/BZV, afgevoerd kan worden naar de afvalwaterzuivering van het waterschap. Zo ontstaat er ruimte op het riool voor andere lozers terwijl de grootste vuillast, en zorgenpost van het waterschap, wordt weggenomen. Ook ontstaat er zo capaciteit in het rioolstelsel voor meer aansluitingen.

De infrastructuur van de pilot is zo ontworpen dat de Phytoparking ook met huishoudelijk afvalwater en/of urine getest kan worden. Zo zou de CZV-, BZV- en/of nutriëntenbelasting verhoogd kunnen worden om de grenzen van het systeem te bepalen, en te toetsen of de Phytoparking ook huishoudelijk afvalwater zou kunnen zuiveren. Dit zou kunnen als er voldoende tijd beschikbaar is tijdens de monitoringsfase.

Onderbouwing keuze urine opslag en ozonbehandeling

Urineopslag en behandeling met ozon is bij de MCA voor primaire zuiveringstechnologieën als beste naar voren gekomen. Deze optie scoorde iets hoger dan alleen urineopslag van vanwege het positieve effect van ozon op de verlaging van microverontreinigingen en pathogenen in urine, waardoor het mogelijk ingezet kon worden als meststof. Er is niet voor struvietprecipitatie gekozen omdat deze technologie al op meerdere plekken in Nederland is toegepast, het de pilot complexer zou maken en er met ozonbehandeling meer nutriënten zouden kunnen worden hergebruikt. Met struvietprecipitatie wordt enkel fosfaat en een klein deel van de stikstof herwonnen, terwijl urine meer stikstof en ook kalium en micronutriënten bevat.

Onderbouwing keuze actiefkoolfilter

Van de tertiaire zuiveringstechnologieën scoorde het Schorsfilter als best. Hierna volgden het actiefkoolfilter en desinfectie met UV of waterstofperoxide. Er is niet gekozen voor behandeling met waterstofperoxide vanwege de complexiteit van het systeem, hoge energieverbruik, robuustheid en lagere verwijderingsrendementen. Toepassingsmogelijkheden van deze technologie in het buitengebied voor verwijdering van microverontreinigingen werden als miniem beschouwd. Gedurende het proces bleek er in het projectteam niet voldoende kennis aanwezig

over de toepassing van Schorsfilters voor verwijdering van microverontreinigingen. De enige beschikbare informatie kwam uit een wetenschappelijke publicatie, wat niet voldoende was om een pilot mee op te zetten. Het actiefkoolfilter kwam dus naar voren als de meest interessante optie voor verwijdering van microverontreinigingen.

Uiteindelijk is *geen* tertiaire zuivering geïnstalleerd en getest omdat de verwijdering van microverontreinigingen niet meer tot de kerndoelstellingen van de pilot bij HVCH werd gerekend. Wel is er ruimte opgenomen om een actiefkoolfilter te testen tijdens of na de monitoringsperiode, mocht dit wenselijk zijn.

5.5 Pilot opzet

5.5.1 Algemene uitgangspunten

Gedurende het proces werd duidelijk dat het inschatten van de hoeveelheden en samenstellingen van het (afval)water bij de voetbalvereniging zeer lastig was. UGent heeft het afvalwater van HVCH wel bemonsterd, en een inschatting van de afvalwatervolumes gemaakt. Echter zijn de bronnen van afvalwater in een sportcomplex niet eenduidig bekend. Zowel in literatuur, als bij HVCH zelf, was weinig tot geen informatie beschikbaar over toiletbezoeken, duur van een douchebeurt en het aantal personen die doucht. Toen tijdens de ontwerpfasen bleek dat het drinkwaterverbruik van HVCH niet overeenkwam met de oorspronkelijke inschattingen, zijn nieuwe inschattingen gemaakt. Hiervoor is meer informatie, van onder andere HVCH zelf, gebruikt. Tabel 5-5. geeft een overzicht van de herkomst en de daarbij berekende hoeveelheden afvalwater die zijn gebruikt om de technologieën te dimensioneren. De aannames die hiervoor zijn gebruikt zijn opgenomen in Bijlage 2.

Tabel 5-5. Berekende afvalwatervolumes die als uitgangspunt voor de pilot bij HVCH hebben gediend.

	Ma (m ³)	Di (m ³)	Wo (m ³)	Do (m ³)	Vr (m ³)	Za (m ³)	Zo (m ³)	Week (m ³)
Grijswater	4,7	4,7	4,8	4,8	-	9,8	3,6	32,6
Douches inclusief wastafels en spoelbakken	4,7	4,7	4,7	4,7	-	8,8	3,0	30,8
Kantine	-	-	0,1	0,1	-	1,0	0,6	1,8
Zwartwater	1,5	1,5	1,5	1,5	-	3,3	1,0	10,3
Spoelwater feces	0,2	0,2	0,2	0,2	-	0,6	0,2	1,6
Spoelwater urine	1,2	1,2	1,2	1,2	-	2,6	0,8	8,2
Urine & feces	0,1	0,1	0,1	0,1	-	0,2	0,0	0,5
Urine van urinoirs	0,06	0,06	0,06	0,06	-	0,14	0,04	0,4
Huishoudelijk afvalwater van 4 woningen	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	10,1
Totaal	7,7	7,7	7,8	7,8	-	14,7	6,1	53,4

Afhankelijk van de technologie zijn er voor de dimensionering ook andere parameters gebruikt. Deze zijn bij de beschrijving van elke technologie opgenomen.

5.5.2 Algemene procesbeschrijving

De pilot bij HVCH bestaat uit 3 verwerkingslijnen die ieder ander afvalwater ontvangen en behandelen. Het zwartwater van de toiletten wordt behandeld met een MBR, de urine van de waterloze urinoirs wordt bewaard in

een opslagtank met ozondosering en het grijswater van de douches wordt gezuiverd in een Phytoparking (Figuur 5-4).

Het zwartwater stroomt van de toiletten in bruine 110mm PVC buizen onder vrijverval³ naar een voorbezinker. Deze bestaat uit twee betonnen putten van elk 6.5m³, die halverwege de waterhoogte met elkaar verbonden zijn. De tweede voorbezinktank en de container zijn middels een mantelbuis (80mm PE) met elkaar verbonden. Het zwartwater wordt vanuit de voorbezinker, via een leiding in deze mantelbuis, naar de MBR gepompt. Bekabeling voor de pomp en niveausensor in de voorbezinker loopt ook door deze mantelbuis. De voorbezinker is uitgerust met een overloop naar de effluent-verzamelpompput (125mm PVC) om te voorkomen dat de voorbezinker overstroomt indien de pomp of MBR buiten werking treedt. Het effluent van de MBR stroomt via een effluentleiding, wederom in een 80mm PE mantelbuis, onder vrijverval naar de effluent-verzamelpompput.

Urine ingezameld met de waterloze urinoirs stroomt via een zwart 110mm PE rioolstelsel³, onder vrijverval, naar een opslagtank (1,5m³). Voor de opslagtank is een zakput geplaatst, waardoor het mogelijk is om onbehandelde urine te bemonsteren. Ozon wordt in de urineopslagtank gedoseerd. Dit wordt in de container gegenereerd, en door een pomp en ozonleiding (in een 90mm PE mantelbuis) naar de urineopslagtank gepompt. Het effluent van de urineopslagtank stroomt onder vrijverval via een 110mm PE buis naar de effluent-verzamelpompput.

Het grijswaterrioolstelsel is vrijverval, en bestaat uit grijze 110mm PVC buizen. Het grijswater van de keuken stroomt eerst door een vetafscheider (capaciteit hiervan is 4 l/sec), waarna het zeer waarschijnlijk samenkomt met het zwartwater van de toiletten. Dit is vanwege een foutieve aansluiting, aangezien het oorspronkelijke doel was om aan te sluiten op het grijswaterriool van de douches.

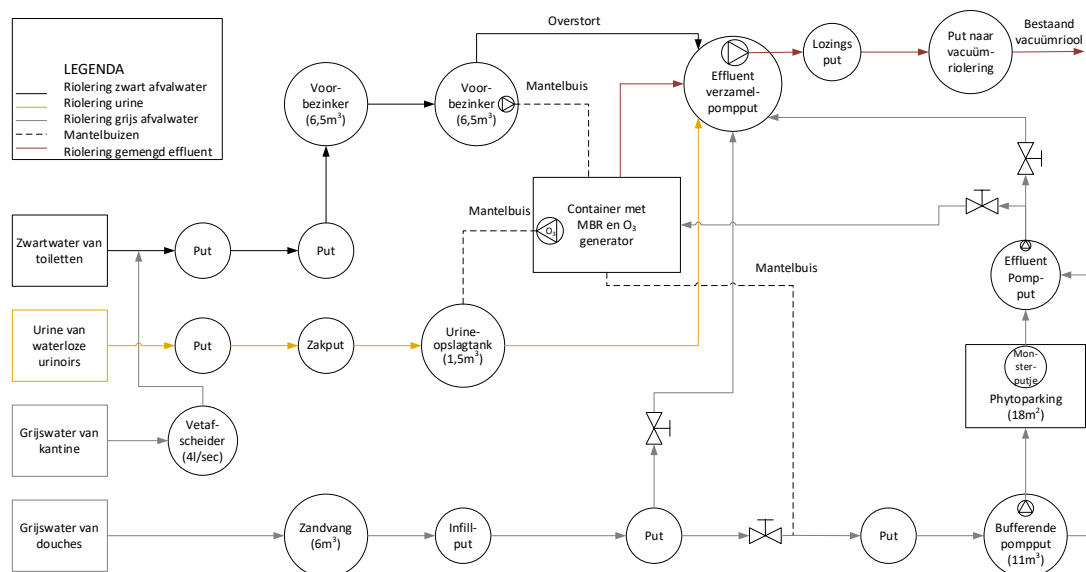
Het grijswater van de douches stroomt onder vrijverval door een zandafvang (6m³) en een Infillput⁴ om respectievelijk het zand van de velden en rubbergranulaat afkomstig van het kunstgrasveld te verwijderen. Het grijswater wordt in een bufferende pompput (11m³) verzameld. Deze pompput bevat twee pompen die het grijswater via een 40mm PE persleiding naar de Phytoparking pompen voor zuivering. Het effluent van de Phytoparking loopt in een 110mm PVC buis naar een effluentpompput, vanwaar het via een 40mm PE persleiding naar de effluent-verzamelpompput wordt gepompt. Dit laatste stuk kon niet onder vrijverval vanwege het hoogteverschil.

Het effluent van de verschillende technologieën komt samen in de effluent-verzamelpompput. Vanuit hier wordt het via een 63mm PE persleiding naar een lozingsput gepompt. Het effluent stroomt vervolgens onder vrijverval naar de put waarop het vacuümrioolstelsel is aangesloten. Het effluent wordt niet rechtstreeks naar de vacuümpot gepompt, omdat het niet is toegestaan om een perspomp direct op een vacuümpot aan te sluiten.

Er is ook een aantal verbindingen tussen de verschillende rioolstelsels opgenomen. Dit is gedaan zodat op een later tijdstip, bijvoorbeeld tijdens de monitoringsperiode, de verschillende technologieën ook ander afvalwater zouden kunnen zuiveren, of om medicijnresten uit het effluent te verwijderen.

³ De PFD in Figuur 5-4 toont ook verschillende kleine putten in de verschillende rioolstelsels. Deze zijn geïnstalleerd op de plek waar het riool een haakse bocht maakt, om toekomstige inspecties en eventuele reinigingswerkzaamheden te vergemakkelijken.

⁴ Tijdens de bouwvoorbereidingen bleek het afvalwater van de douches ook rubbergranulaat van het kunstgrasveld te bevatten. Dit rubbergranulaat bezonk niet goed, waardoor is besloten om een Infillput in het grijswaterrioolstelsel te plaatsen. De Infillput is een put met een 3 meter lange kous die aan de uitstroomopening is gemonteerd. De kous ligt in het achterliggende riool. Het grijswater stroomt door de kous, en het rubbergranulaat wordt hierin afgevangen. Als de kous vol raakt wordt deze verwijderd, leeg geklopt, en weer teruggeplaatst.



Figuur 5-4. Schematische weergave van de afvalwaterverwerkingsketen bij HVCH (Bron: LeAF en PFD HVCH v6a).

Er is een verbinding gemaakt tussen het grijswaterriool en de effluent-verzamel-pompput zodat het grijswater ook zonder behandeling op het vacuümriool geloosd kan worden. Dit zou nodig kunnen zijn als de Phytoparking met zwartwater wordt getest. Tevens is er een 80mm PE mantelbuis tussen de container en de bufferende pompput van de Phytoparking aangelegd, om het effluent van de MBR, of het zwartwater, via de container naar de Phytoparking te pompen. Als laatste is het mogelijk om het effluent van de Phytoparking naar de container, in plaats van de effluent-verzamelput, te pompen. Zo kan het effluent in de container een nabehandeling met ozon of actiefkool (als dit filter wordt geïnstalleerd), ondergaan.

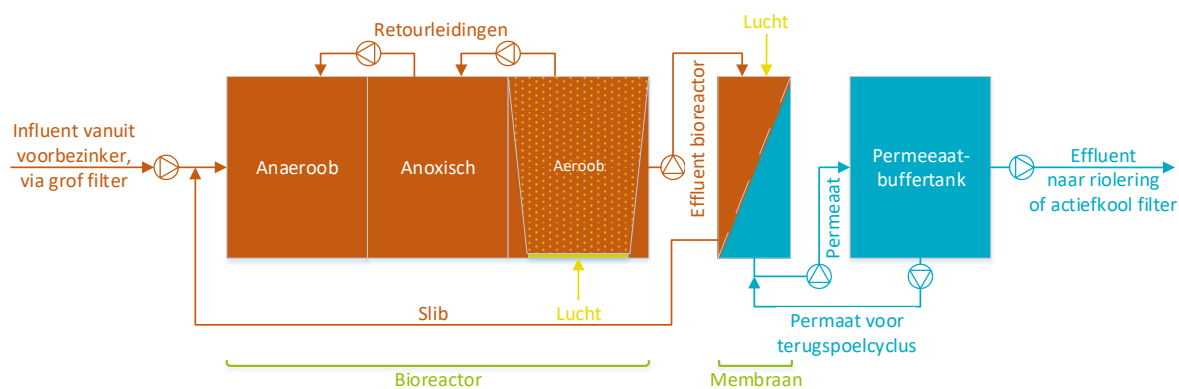
5.5.3 MBR

Een Membraan Bioreactor (MBR) is een afvalwaterzuiveringstechnologie die bestaat uit een bioreactor, waar afvalwater met behulp van bacteriën wordt gezuiverd, en één of meerdere membranen. De MBR is ontworpen om de geschatte afvalwatervolumes (zwartwater en huishoudelijk afvalwater van 4 huishoudens) te kunnen behandelen en heeft een capaciteit van 10 m³/d. De MBR zal gemiddeld een debiet van 3,8 m³/d verwerken en kan het maximaal ingeschatte debiet van 4,8 m³/d en een piekbelasting van 475 l/u goed verwerken.

Het zwartwater wordt vanuit de voorbezinker via twee grof filters (2mm RVS en 1mm nylon) naar de MBR gepompt zodat zwevende delen uit de voorbezinker worden afgevangen en de levensduur van de membranen wordt verlengd. Deze filters worden periodiek schoon gemaakt om verstopping te voorkomen. Figuur 5-5 toont een schematisch overzicht van de MBR bij HVCH.

De eerste stap van de MBR, de bioreactor, bestaat uit meerdere geschakelde compartimenten met een anaerobe zone voor de verwijdering van fosfaat, gevolgd door een anoxische zone voor de verwijdering van stikstof en een aerobe zone voor de verwijdering van de zuurstofbindende componenten uit het afvalwater. Een deel van de aerobe zone is uitgevoerd als wisselcompartiment. Er is een recirculatie van het afvalwaterdebiet van aerob naar anoxisch en een recirculatie van het afvalwaterdebiet van anoxisch naar anaerob. Beide recirculaties zijn instelbaar en bepalen mede de verwijdering van fosfaat en stikstof. Voor de denitrificatie wordt indien nodig een koolstofbron gedoseerd. Tevens kunnen ook chemicaliën voor de verwijdering van fosfaat toegevoegd worden. De

beluchting in de aerobe zone vindt plaats door middel van schotelbeluchting. De bediening van de bioreactor bestaat verder uit het controleren van schuimvorming. Schuimvorming treedt doorgaans alleen op tijdens opstartfase. Het schuim wordt namelijk gevormd doordat het slib zich moet aanpassen aan het (nieuwe) type afvalwater.



Figuur 5-5. Schematisch overzicht van de MBR bij HVCH. CIP tanks en leidingen zijn voor de eenvoud niet weergegeven.

De kern van de MBR skid zijn 2 Crossflow UF Berghoff 8 mm membranen met ieder een capaciteit van 5 m³ per dag. De totale capaciteit van de ultrafiltratie membranen is daarmee 10 m³ per dag. Hierdoor kunnen ook grotere pieken opgevangen worden, die bijvoorbeeld tijdens een toernooi bij HVCH ontstaan. Behalve de membranen is de skid ook voorzien van een recirculatiepomp, een onttrekkingspomp, leidingwerk en meet- en regeltechniek. Tevens is er een backwash pomp met mogelijkheid van chloorbleekloogdosering aanwezig om de membranen te reinigen. Via een luchtverdeelsysteem ontvangt elke membraanbuis evenveel lucht.

Het influent van de membranen stroomt samen met de lucht van boven naar beneden, verticaal langs de membranen. Deze opstelling kost minder lucht en elektrische energie voor de pompen dan een conventionele opstelling waarbij de lucht en het influent van onder naar boven stromen. Deze innovatieve manier van beluchten wordt nog niet op deze schaal grote toegepast en kan bijdragen aan een efficiënte manier van zuiveren. De neergaande luchtbellen zorgen voor een extra reiniging van de membranen. Lucht wil immers omhoog en schrobt daardoor de membranen op weg naar beneden.

Het langs de membranen recirculerende slib wordt onttrokken en teruggespoeld naar de bioreactor. Het schone permeaat uit de membranen wordt opgeslagen in een permeaat buffertank. Vanuit hier stort het gezuiverde afvalwater onder vrijerval over naar de effluent-verzamelpot, vanwaar het naar het vacuümriool wordt gepompt. Hierbij is er een beveiliging ingebouwd zodat het waterpeil in de permeaat tank niet te ver zakt om de terugspoeling van de membranen te garanderen.

Het concentraat van de membranen wordt teruggevoerd naar de MBR. Indien nodig kan het slib van de MBR, via een leiding naar de effluent-verzamelpot worden gespuid (via overstort permeaattank).

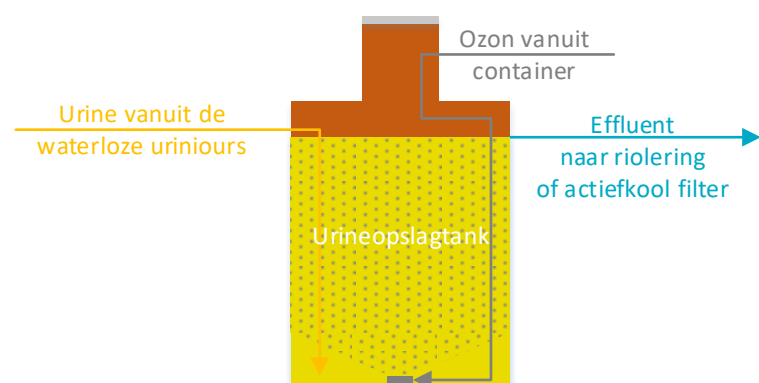
Door het filteren van het afvalwater zullen de membranen in de loop der tijd gaan vervuilen. De membranen worden daarom automatisch een aantal malen per uur teruggespoeld met deeltjesvrij permeaat vanuit de permeaat buffertank en naar behoefte wordt een injectie met een anti-aanslagmiddel (chloorbleekloog) toegepast om het afgezette slib van de membraanwand los te spoelen en hardnekkiger aanslag te verwijderen.

Als de transmembraandrukken ook na de terugspoelcyclus te hoog oplopen (afhankelijk van de locatie in de membraan maximaal 300-800 mbar) duidt dit op een verdere vervuiling van de membranen. De membranen moeten dan chemisch worden gereinigd (CIP=Chemical in Place Cleaning). Deze procedure wordt handmatig uitgevoerd.

5.5.4 Ozon

De ozon is in eerste instantie gebruikt om de ingezamelde urine te behandelen zodat (een deel van) de aanwezige microverontreinigingen en pathogenen wordt afgebroken. De eigenschappen van de verontreinigingen bepalen of deze reageren met ozon, of juist niet.

Figuur 5-6 toont een schematische weergave van de urineopslagtank met ozondosering.



Figuur 5-6. Schematische weergave van de urineopslagtank met ozon.

Het bestaande vrijvervalriool voor urine is verlengd tot de urineopslagtank die naast de voorbezinker en container ligt. Het volume van deze betonnen opslagtank is $1,5\text{ m}^3$. De urine stroomt door een verticale buis vlak boven de bodem de urineopslagtank in. Zo wordt turbulentie van de urine en vorming van ammoniakgas voorkomen. Voor de dimensionering van de urineopslagtank is uitgegaan van een wekelijks nominaal debiet van $1,3\text{ m}^3$, en maximaal debiet van $2,0\text{ m}^3$ per week. De theoretische hydraulische verblijftijd is hierdoor circa 8 dagen.

De urineopslagtank is met een mantelbuis aangesloten op de container met daarin de ozongenerator. De in de container geproduceerde ozon zal door een slang in de mantelbuis en een bruiselement in de urineopslagtank aan de urine worden gedoseerd. De urineopslagtank fungeert dus als reactorvat. Door de ozon batchgewijs (met intervallen) te doseren wordt de vorming van rest-ozon tot het minimum beperkt.

Voor de verwijdering van microverontreinigingen is uitgegaan van een ozondosering van 160 gram per m^3 urine. De ozongenerator heeft een capaciteit van vier gram per uur waardoor er 60 uur (2,5 dag) nodig is om voldoende ozon aan de $1,5\text{ m}^3$ urine te doseren. Dit is ruim minder dan er met de urineopslagtank wordt bewerkstelligd. Op basis van een urineproductie van $1,3\text{ m}^3/\text{week}$ en $0,4\text{ m}^3/\text{week}$ zal de berekende ozondosering ergens tussen de $512\text{ gr}/\text{m}^3$ en $1664\text{ gr}/\text{m}^3$ liggen. Deze waarden komen overeen met de ozonconcentraties die in literatuur (Dodd, e.a., 2008 en Maurer, e.a., 2006) worden aangegeven te resulteren in een goede verwijdering van microverontreinigingen ($900\text{-}2000\text{ gr O}_3/\text{m}^3$ urine).

De behandelde urine loopt via een overloop in de urineopslagtank weg naar de aansluiting op het gemeentelijke vacuümriool.

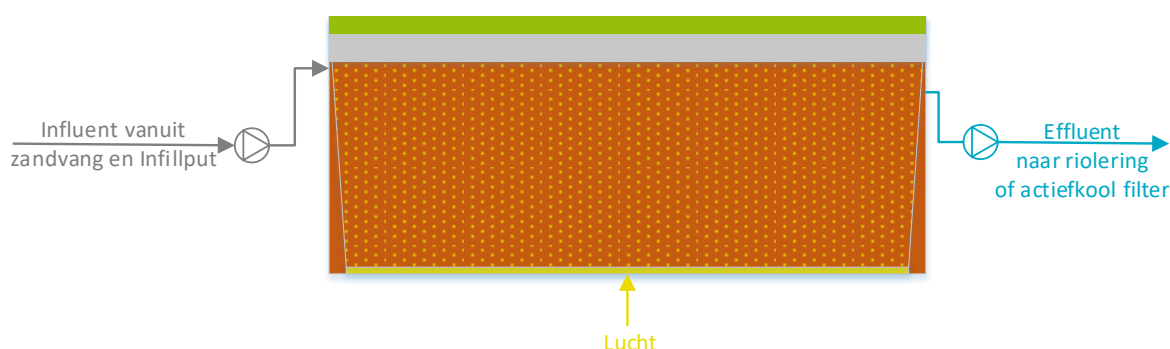
5.5.5 Phytoparking

De Phytoparking is een systeem dat is ontwikkeld door Rietland Bvba, een leverancier van natuurlijke waterzuiveringssystemen in België. Een recente ontwikkeling is de uitrusting van helofytenfilters met Forced Bed Aeration (FBA) technologie. Dit houdt in dat de helofytenfilters actief belucht worden waardoor de zuiveringsprocessen sneller verlopen en het benodigde oppervlak van het helofytenfilter met circa 75% afneemt terwijl de zuiveringsrendementen gelijk blijven. De Phytoparking is een belucht helofytenfilter waarop geen riet groeit maar gras. Dit gras is geplant in kunststof tegels waardoor de Phytoparking als parkeerplaats kan dienen.

De Phytoparking bij HVCH is op basis van een hydraulische belasting gedimensioneerd omdat deze in vergelijking met dimensionering op basis van de TZV (Totaal Zuurstof Verbruik) vrachten limiterend is. Hierbij is uitgegaan van 4,7 m³ grijswater per dag en een minimale verblijftijd van het water van één dag. Ook is er een 20% veiligheidsmarge meegenomen.

De hydraulische belasting is geborgd doordat de influentpompen door middel van timers worden aangestuurd. Eventueel te veel aangeleverd influent zal via een overstort van de bufferpompput naar de effluentpompput overlopen. De influentpompen zijn met vlotters beveiligd tegen drooglopen.

Het oppervlak van de Phytoparking zelf is 18 m². De totale hoogte van het systeem is 1,5 m waarbij de bovenkant gelijk is aan maaiveld. Het waterniveau in het systeem is 1,05 m vanaf onderkant bekeken, oftewel 0,45 m onder maaiveld (Figuur 5-7). Het waterniveau in het systeem kan door de hoogte van de instroomopening van de effluentput geregeld worden. Deze put bevindt zich in de Phytoparking zelf. Vanuit de effluentput stroomt het effluent onder vrijerval naar de effluentpompput, vanwaar het naar de effluent-verzamelput, en vervolgens het vacuümriool, of de container, wordt gepompt.



Figuur 5-7. Schematische weergave van een Phytoparking, met opbouw. Van onderaf zijn de lagen Argex (bruin), funderingslaag (grijs) en rijplaten met gras (groen).

De Phytoparking is vanaf de onderkant gezien opgebouwd uit een 1,25 m laag Argex geëxpandeerde kleikorrels (8-16 rond), een 0,15 m funderingslaag en een 0,1 m legbed met grastegels. Tussen de kleikorrels en de funderingslaag (zand met gebroken puin) ligt geotextiel om vermenging van zand en kleikorrels te voorkomen. Voor een betere binding met fosfaat en pH buffer is Jura Marmer aan de Argex (1:6 verhouding) toegevoegd. Onder in de Argexlaag ligt over bijna het volledige oppervlak een netwerk van beluchtingslangen. Enkel bij de drainagebuis is er geen

beluchting. Het afvalwater wordt boven in de Argexlaag met een buis met uitstroomopeningen ingebracht. Dit influentsysteem ligt op circa een derde vanaf de achterkant van de Phytoparking (de effluentdrainagebuis ligt aan de voorkant van het systeem). Op circa 60% vanaf de achterkant zit een duikschot om te voorkomen dat het instromende water rechtstreeks door de bovenkant van de Argex-laag naar de effluentkant stroomt.

Doordat het influent in de eerste 60% van het systeem aan de bovenkant wordt ingebracht en onder het schot door moet, is de stroming in dit deel verticaal van boven naar beneden. Hierna is de stroming horizontaal richting de effluentdrainagebuis. Zo combineert de Phytoparking werkingsprincipes van de verticaal en horizontaal doorstroomde helofytenfilters.

Voor de grastegels wordt gebruik gemaakt van het O2D Green systeem. Dit zijn vooraf gezaaide TTE Multidrain roosters. Voor de belijning van de parkeervakken wordt gebruik gemaakt van witte/licht grijze O2D Klinkers. De Phytoparking is belastbaar voor lichte voertuigen (B125), dus niet toegankelijk voor veel (zwaar) vrachtverkeer (verkeersklasse D400). Sporadische blootstelling aan vrachtverkeer moet het systeem volgens de leverancier wel kunnen hebben.

De effluentpompput heeft een volume van 2 m³ en is geplaatst in de straat (dus verkeersklasse D400). Het effluent van de Phytoparking wordt vanuit deze pompput met perspomp aangestuurd door vlotters naar de effluentverzamelput of de container gepompt. Dit kan door middel van twee afsluiters in de persleiding gestuurd worden. Ook is deze perspomp aangesloten op het meldingssysteem van de gemeente.

De pompen in de bufferende pompput en blower in de Phytoparking zijn ook handmatig via het internet aan te sturen. Dit kan via de webserver van Rietland. Hier is tevens in te zien hoeveel afvalwater er gedurende afgelopen periodes (dag, week, maand) naar de Phytoparking is gepompt en welke storingsen er zijn. Hier kunnen de instellingen voor de pompen en blowers op aangepast worden.

5.6 Monitoringsprogramma

Het monitoringsprogramma in het kader van de HVCH-pilot is erop gericht de werking van de zuiveringssystemen te beoordelen. De werking van de zuiveringssystemen zijn getoetst aan de wettelijke eisen voor lozing van gezuiverd afvalwater in een niet aangewezen oppervlaktewater. De grenswaarden zijn weergegeven in Tabel 5-1.

Daarnaast is er een aantal parameters gemonitord die meer inzicht geven in de werking en status van het systeem, omdat ze bijvoorbeeld medebepalend zijn voor het goed functioneren van de bacteriën. Deze parameters zijn in het veld geanalyseerd:

- Temperatuur (°C)
- pH (-)
- Geleidbaarheid (µS/cm)
- Opgelost zuurstof (mg O₂/l)

Geleidbaarheid en opgelost zuurstof geven naast inzicht in het functioneren van het systeem ook informatie over de geschiktheid van het gezuiverde afvalwater voor inzet als irrigatiewater en/of lozing in een aquatisch milieu.

Ook zijn er twee parameters gemonitord die specifiek van belang zijn voor de werking van de MBR: het droge stof gehalte (DS) in de bioreactor en chloride (Cl) in het effluent. Het droge stof gehalte geeft aan wanneer er te veel

biomassa in de bioreactor aanwezig is, en er gespuid moet worden. Chloride heeft geen grenswaarde voor lozing, maar is relevant voor inschatting in het functioneren van de MBR. Bij de MBR wordt immers chloorbleekloog gebruikt om de membranen te reinigen, en chloride kan bij bepaalde concentraties de CZV-meting beïnvloeden.

Ten slotte zijn ook de concentraties van medicijnresten gemonitord in de urine afkomstig van de waterloze urinoirs, met als doel de resultaten hiervan met landelijke pilots te kunnen vergelijken. Hiertoe zijn de 19 gidsstoffen (door STOWA gehanteerd) geanalyseerd.

Bemonstering van bovenstaande parameters heeft plaatsgevonden op vier locaties:

1. Bufferende Pompput (influent Phytoparking)
2. Monsterputje in Phytoparking (effluent Phytoparking)
3. Influent MBR (monsterkraan in container)
4. Effluent MBR (monsterkraan in container)

Wat betreft de frequentie van de metingen heeft bemonstering tweewekelijks plaatsgevonden, van 4 maart 2020 t/m 24 december 2021 (in totaal 49 metingen).

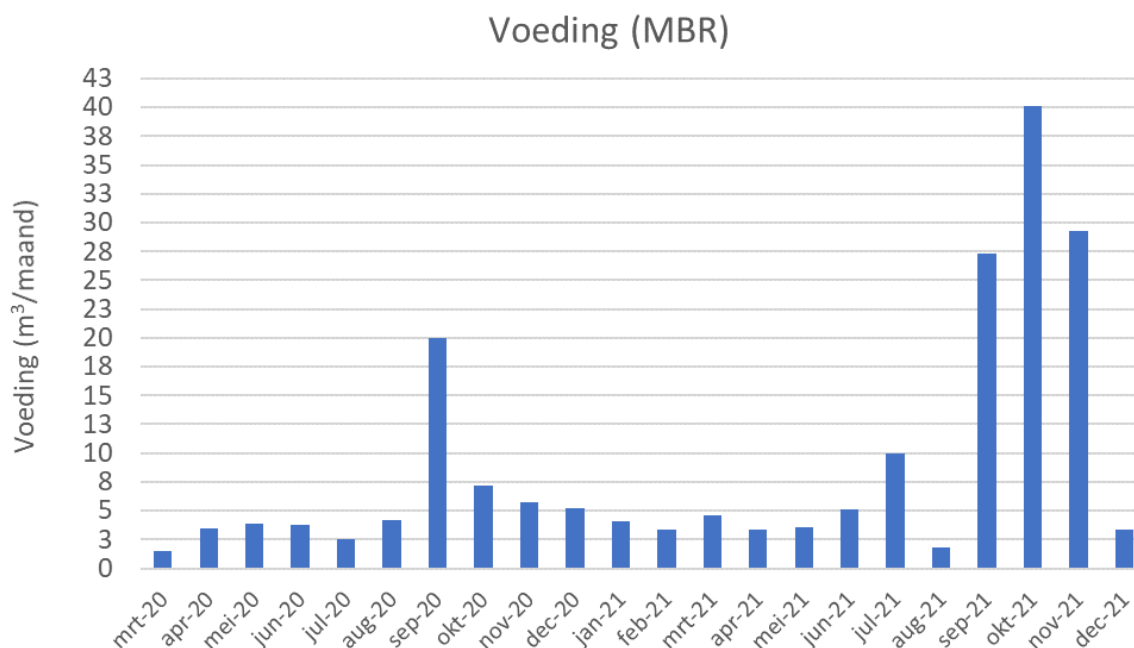
5.7 Evaluatie en resultaten

De resultaten zijn onder te verdelen in de werking van de MBR, de ozonbehandeling van urine en werking van de Phytoparking. Deze worden hieronder achtereenvolgens beschreven.

5.7.1 MBR

De MBR werd gedurende de pilot gevoed met zwartwater van de toiletten van de kantine. Oorspronkelijk was het doel om ook het huishoudelijk afvalwater van 4 woningen aan te voeren, maar halverwege de pilot bleek dat deze woningen per abuis niet waren aangesloten en dat het onmogelijk was ze alsnog aan te sluiten. Toen HVCH werd gesloten tijdens de Covid-19 lockdowns is besloten om de opstart van de MBR door te zetten. Dit is gedaan door extern slib en gier aan te voeren. De maandelijkse voedingsvolumes van de MBR tijdens de pilot periode (2020-2021) zijn weergegeven in Figuur 5-8.

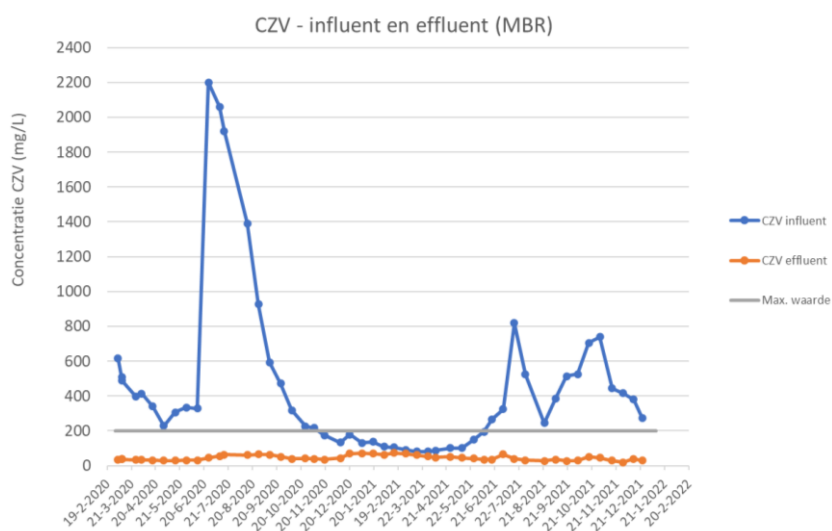
De aanvoer van afvalwater (slib en gier) van andere locaties was niet voldoende water om de MBR volledig te kunnen belasten. Aanvoer van dergelijke hoeveelheden afvalwater zou namelijk te veel hebben gekost. Om die reden is besloten om de MBR in batch modus te bedrijven, in plaats van continu. Pas in Q3 2021 werd de MBR gevoed met hoeveelheden afvalwater die representatief zijn voor regulier gebruik van de toiletten en de kantine.



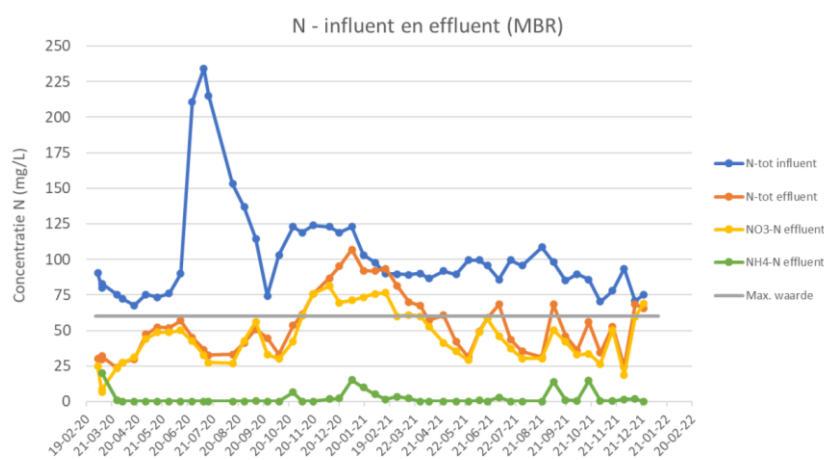
Figuur 5-8. Voeding MBR - HVCH 2020-2021.

De concentraties CZV, N en P in het aangevoerde water (influent) en de concentraties na zuivering door de MBR (effluent) zijn weergegeven in resp. Figuur 5-9, Figuur 5-10 en Figuur 5-11. De maximale waardes met betrekking tot de wettelijke lozingseis zijn weergegeven als een grijze lijn. Hieruit zijn de volgende conclusies te trekken:

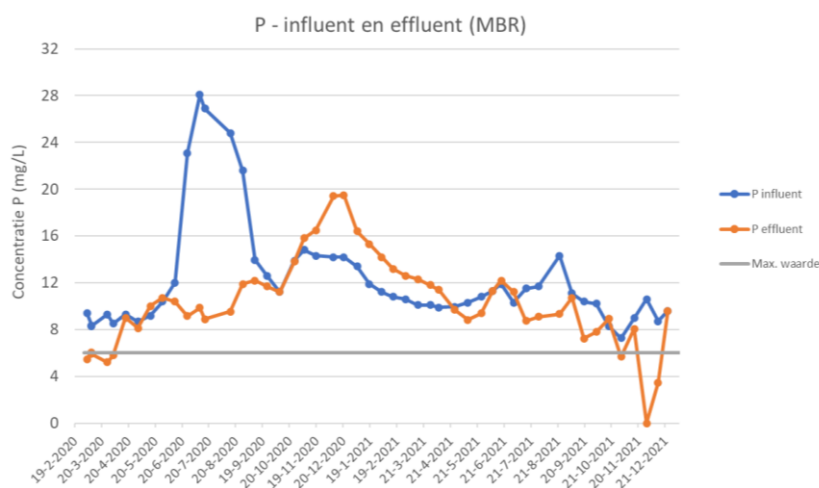
- Verwijdering van CZV vond ruimschoots afdoende plaats, ook in vergelijking met effluentnormen voor een RWZI;
- Verwijdering van NH_4^+ vond grotendeels afdoende plaats (in relatie tot de doelstellingen). Er waren N_{totaal} overschrijdingen door beperkte denitrificatie (omzetting van nitraat naar stikstofgas) als gevolg van onvoldoende hoeveelheden CZV, en enkele NH_4^+ overschrijdingen;
- Verwijdering van P is een uitdaging gebleken, met slechts voldoende verwijdering op het einde van de pilot doordat achter de MBR een adsorptiekolom is geplaatst voor chemische P verwijdering;
- Zowel N als P concentraties in het effluent hebben niet de ambitie van RWZI-effluent gehaald.



Figuur 5-9. CZV-concentraties in influent en effluent van de MBR - HVCH 2020-2021.



Figuur 5-10. N-concentraties in influent en effluent van de MBR - HVCH 2020-2021.



Figuur 5-11. P influent en effluent MBR - HVCH 2020-2021.

In juni 2020 vond een significante piekaanvoer plaats, wat waarschijnlijk veroorzaakt is door achtergebleven vloeibare mest in de giertank waarmee het afvalwater is aangevoerd. Door de aanwezigheid van deze mest is de hoeveelheid CZV, N en P in de voeding toegenomen, waardoor de biologie beter is gaan presteren. Na verwerking hiervan heeft de biologie in Q4 2020 en Q1 2021 echter een moeilijk periode gehad als gevolg van de zeer beperkte voeding. Niet alleen de voeding nam af, maar ook de hoeveelheid CZV nam steeds verder af. Hierdoor vond slechts beperkt denitrificatie plaats en geen biomassa groei voor opname van fosfaat. Om die reden waren de verwijderingsrendementen voor N en P laag. Zodoende is besloten om een extra koolstofbron aan te gaan voeren waarmee de denitrificatie op voldoende niveau kon worden gebracht. Daarnaast is een verwarming in de container geplaatst om de temperatuur van het water voldoende hoog te houden. Dit heeft geleid tot een dalende trend met betrekking tot de hoeveelheid N in het effluent zodat begin Q2 2021 weer acceptabele N waarden werden bereikt in relatie tot de wettelijke lozingsseis. Wel toonde de NO_3^- , en daardoor N_{totaal} , concentratie in het effluent nog een grillig verloop aan het eind van de gerapporteerde monitoringsperiode.

Vanaf Q2 2021 begint de hoeveelheid CZV toe te nemen doordat er weer bij HVCH gesport kon worden. Na een dip als gevolg van de zomervakantie wordt HVCH vanaf Q3 weer druk bezocht. Verwijdering van CZV vindt succesvol plaats, en verwijdering van N ook afgezien van een enkele overschrijding door een defecte pomp.

Wat betreft verwijdering van P zijn vanaf Q3 testen gedaan met een adsorptiekolom achter de MBR, gevuld met een adsorbent ook gebruikt voor zuivering van visvijvers. Dit verzadigde echter zeer snel, waarna is overgestapt op het doseren van een adsorbent (Purolite® FerrIX) in de MBR zelf. Hiermee is een daling van de P-concentratie in het effluent ingezet, maar worden pas eind 2021 acceptabele waarden bereikt in relatie tot de wettelijke lozings eis. De verzadigde adsorptiekorrels worden met het spuislib afgevoerd.

De gemiddelde verwijderingsrendementen van de MBR met betrekking tot CZV, N en P tijdens de pilot zijn weergegeven in Tabel 5-6. Hieruit zijn de dezelfde conclusies te trekken als hierboven, namelijk dat de verwijdering van CZV en N grotendeels succesvol is gebleken, en de verwijdering van P een uitdaging.

Tabel 5-6: Gemiddelde verwijderingsrendementen CZV, N en P MBR (2020-2021, n=49) – HVCH.

Parameter	Influent gem. (2020-2021)	Effluent gem. (2020-2021)	Effluent eis (max.)	Verwijdering gem. (%)
CZV (mg O ₂ /l)	463 +/- 479	45 +/-14	200	79% +/- 21%
N-tot (mg N/l)	102 +/- 35	53 +/-21	60	45% +/- 24%
P-tot (mg P/l)	12 +/- 5	10 +/- 4	6	18% +/- 24%
NH ₄ -N (mg N/l)	niet gemonitord	2 +/- 4	4	-

5.7.2 Urine

De urine afkomstig van de waterloze urinoirs is tijdens de pilot behandeld met ozon ter verwijdering van medicijnresten en andere microverontreinigingen. Ter monitoring hiervan zijn de 19 gidsstoffen geanalyseerd zoals gehanteerd door STOWA. In maart 2021 is een monster onbehandeld urine (blanco) geanalyseerd, waarna maandelijks (afgezien van augustus i.v.m. de zomervakantie) in totaal zijn 8 monsters geanalyseerd na behandeling met ozon. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 5-7. Daarnaast is van de 5 meest aanwezige gidsstoffen het verloop van de concentraties weergegeven in Figuur 5-12.

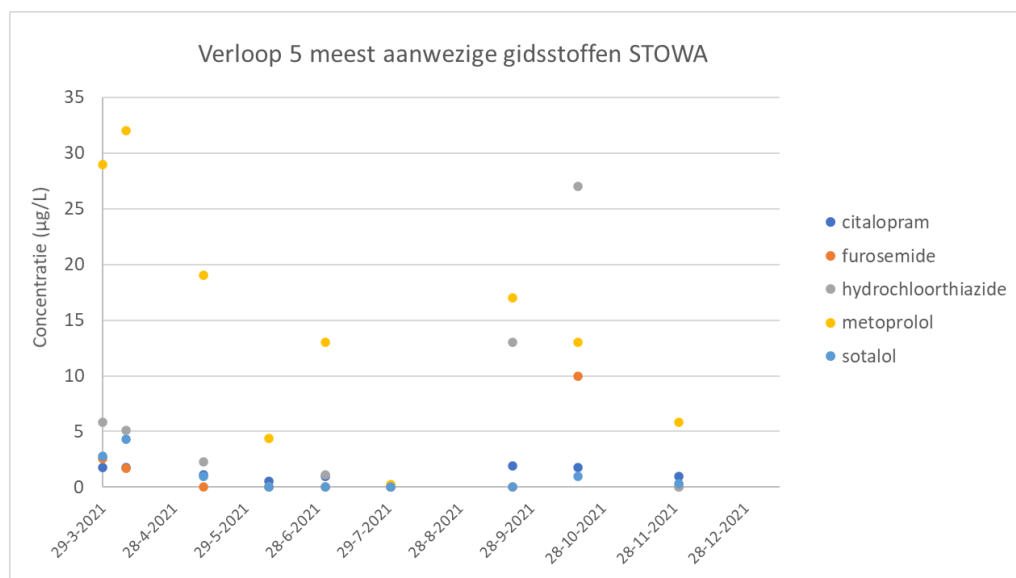
Hieruit blijkt dat op 30 juli vrijwel alle (18 van de 19) gidsstoffen niet meer detecteerbaar zijn, waarmee het effect van de behandeling met ozon duidelijk zichtbaar is. Na de zomervakantie nemen de concentraties weer toe, wat deels te wijten is aan een defecte ozonleiding (vervangen op 6 september) waardoor de medicijnresten zich in de periode daarvoor hebben opgebouwd in de verzamelput. Aangezien de concentraties vervolgens verder zijn blijven stijgen, ondanks verhoging van de ozondosering, is het vermoeden dat de ozongenerator geen (of in ieder geval veel minder) ozon meer heeft geproduceerd sindsdien en een onderhoudsbeurt nodig heeft. Desalniettemin is aangetoond dat de dosering van ozon in de basis succesvol is voor de verwijdering van de gidsstoffen uit urine afkomstig van de waterloze urinoirs.

Het verwijderingspercentage, zoals door Stowa aangehouden om te bewijzen dat een nageschakelde techniek voldoende verwijdering behaald, moet tenminste 70% bedragen bij de 7 best verwijderde gidsstoffen. Het is niet mogelijk om het verwijderingspercentage te berekenen met deze analyseresultaten, omdat de medicijnresten in het influent niet zijn bepaald voor elke meting en omdat veel van de stoffen onder de rapportagegrens zijn gemeten. Het is wel zichtbaar dat in mei juni en juli alle gidsstoffen in concentratie afnamen en/of onder de detectiegrens lagen.

Tabel 5-7. Analyse gidsstoffen STOWA (medicijnresten) in urine afkomstig van waterloze urinoirs na behandeling met ozon (2021) – HVCH. Met **groen**, **geel** en **rood** zijn respectievelijk de gidsstoffen aangegeven die goed, matig en slecht verwijderd kunnen worden door middel van ozon. Effecten van ozon op furosemide (wit) zijn onbekend (bron: Mulder, 2021).

	Sample	blanco	1	2	3	4	5	6	7	8
	Datum	29-3	8-4	11-5	8-6	2-7	30-7	20-9	18-10	30-11
Gidsstof STOWA	Eenheid	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
1,2,3-benzotriazool		0,52	0,49	< 0,4	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,02	< 1	< 0,4
som 4- en 5-methyl-1H-benz.		< 0,01	< 0,1	< 0,4	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,02	< 1	< 0,4
amisulpride		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,5	< 0,05
azitromycine		0,02	< 0,5	< 0,5	< 1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 5	< 0,5
candesartan		0,08	< 0,1	< 0,1	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	< 0,1
carbamazepine		1,7	1,8	0,73	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,2	< 0,5	< 0,05
citalopram		1,8	1,8	1,1	0,51	0,96	< 0,05	1,9	1,8	1
claritromycine		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,5	< 0,05
diclofenac		0,96	0,72	0,32	< 0,1	< 0,05	< 0,05	0,1	5	< 0,05
furosemide		2,6	1,7	< 1	< 2	< 1	< 1	< 1	10	< 1
gabapentine		< 0,05	< 0,02	< 0,1	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	9,9
hydrochloorthiazide		5,8	5,1	2,3	< 1	1,1	< 0,5	13	27	< 2
irbesartan		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,05	< 0,05	0,08	< 0,5	1,2
metoprolol		29	32	19	4,4	13	0,24	17	13	5,8
propranolol		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,5	< 0,05
sotalol		2,8	4,3	0,95	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,2	0,99	0,29
sulfamethoxazol		1,5	1,3	0,49	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,2	< 0,5	19
trimethoprim		0,21	0,12	0,2	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,2	< 0,5	15
venlafaxine		0,18	0,16	0,08	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,5	0,32

Mulder (2021) beschrijft welke stoffen goed, matig en slecht verwijderd kunnen worden door ozon. Dit is in Tabel 5-7 aangegeven met groen, geel en rood. Tijdens een aantal maanden worden zo goed als alle stoffen verwijderd, en tijdens sommige maanden worden zowel goed, matig als slecht verwijderbare stoffen slecht verwijderd. Omdat er niet elke monsternamen een influent meting is gedaan en omdat het de verwachting is dat er iets mis is met de ozongeneratie in de laatste maanden is het lastig om met deze analyseresultaten te zeggen of de resultaten naar verwachting zijn voor een ozonbehandeling.



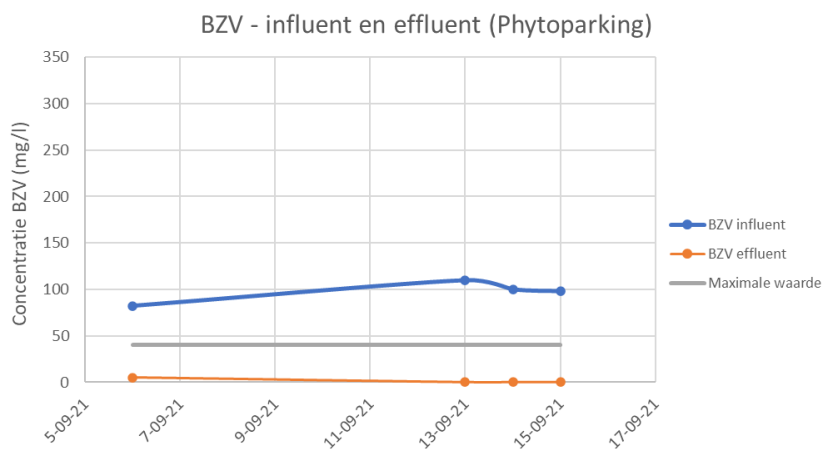
Figuur 5-12: Verloop 5 meest aanwezige gidsstoffen STOWA in urine waterloze urinoirs (2021) – HVCH.

5.7.3 Phytoparking

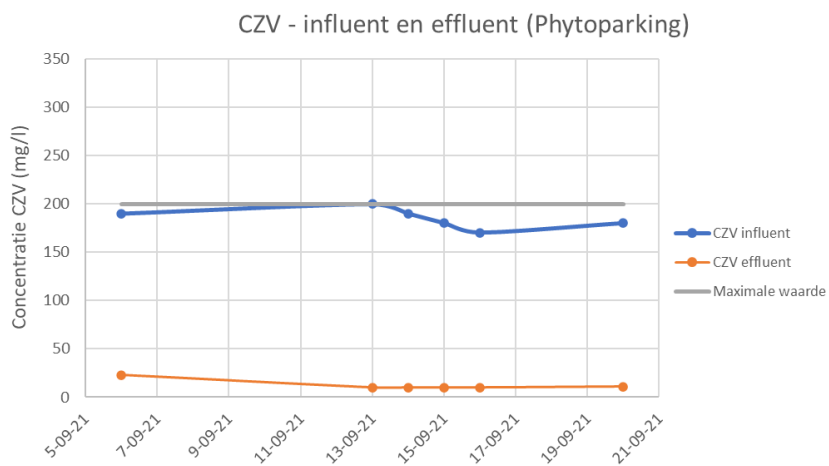
De Phytoparking is tijdens de pilot gevoed met grijswater van de kantine en grijswater van de douches. Dit vond batchgewijs plaats vanuit de bufferpompput. De werking van de Phytoparking is gemonitord gedurende de maand september 2021, na heropening van de kantine wanneer er daadwerkelijk grijswater van de kantine en douches werd aangevoerd. De resultaten van de monitoring met betrekking tot BZV, CZV, N, P en ZS zijn weergegeven in resp. Figuur 5-13, Figuur 5-14, Figuur 5-15, Figuur 5-16 en Figuur 5-17.

Opgemerkt wordt dat er gedurende de opstart van de Phytoparking, na aanleg, grote hoeveelheden water in de bufferpompput werden waargenomen. Ook gedurende de rest van de pilot bleken de waterhoeveelheden groter dan oorspronkelijk gedacht. Omdat het water ook werd aangevoerd tijdens de lockdowns (en er geen grijswater werd geproduceerd), lijkt het aannemelijk dat er foutieve aansluitingen waren in het leidingwerk. Deze foutieve aansluitingen zijn echter nooit opgespoord. Omdat het systeem online te bedienen is, is de hydraulische overbelasting aangepast door de draaiuren van de pomp te beperken. Het overtollige influent is via de overstort in de pompput afgevoerd naar het gemeentelijk riool. De hoeveelheid en samenstelling hiervan is niet bijgehouden.

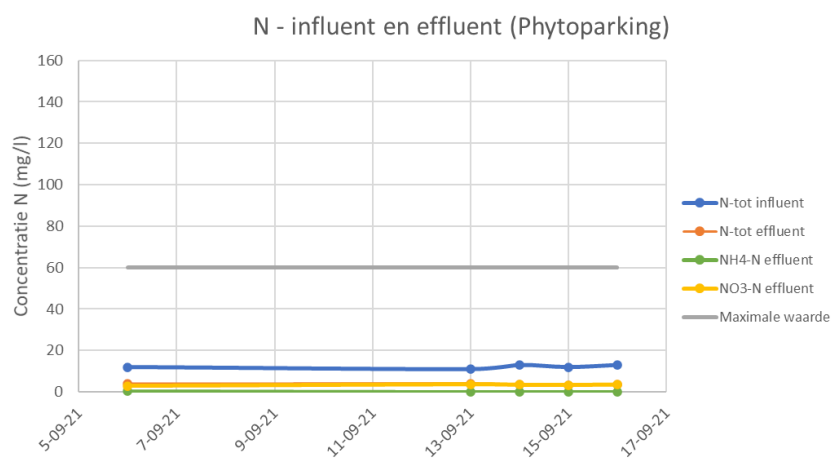
Uit de data is op te maken dat de Phytoparking succesvol is in de verwijdering van BZV, CZV, N, P en ZS uit het grijswater van de douches, en dat de wettelijke lozingsniveaus ruimschoots worden gehaald. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het influent van de Phytoparking al voldeed aan de wettelijke lozingsniveaus, als gevolg van het feit dat het influent grijswater betreft dat van oorsprong relatief weinig nutriënten en CZV bevat. Dit is te verklaren omdat het grijswater bestond uit douchewater, dat zeer verdund afvalwater betreft met enkel zeepresten. Het is ook mogelijk dat de externe, onbekende, (afvalwater)bron uit zeer schoon water bestond.



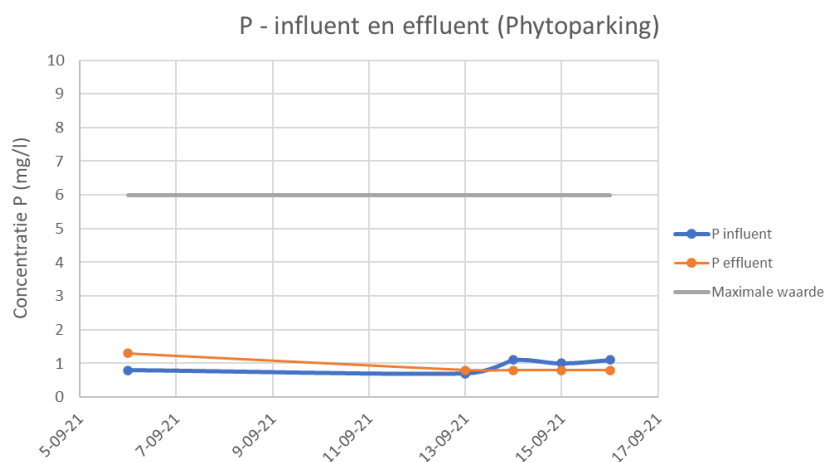
Figuur 5-13. BZV-concentraties in influent en effluent Phytoparking - HVCH 2021.



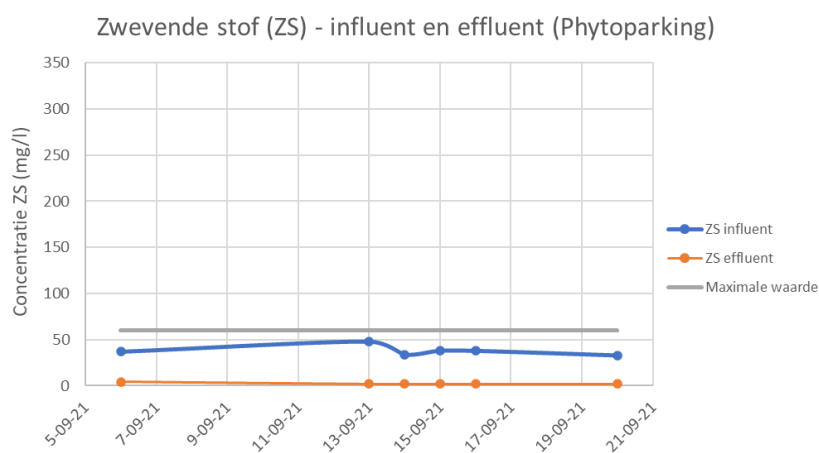
Figuur 5-14. CZV-concentraties in influent en effluent Phytoparking - HVCH 2021.



Figuur 5-15. N-concentraties in influent en effluent Phytoparking - HVCH 2021.



Figuur 5-16. P-concentraties in influent en effluent Phytoparking - HVCH 2021.



Figuur 5-17. ZS-concentraties in influent en effluent Phytoparking - HVCH 2021.

De gemiddelde verwijderingsrendementen van de Phytoparking met betrekking tot diverse parameters tijdens de pilot zijn weergegeven in Tabel 5-8. Ook hieruit blijkt dat de behandeling succesvol is. Wat betreft verwijdering van P was de influent concentratie al dusdanig laag (0,9 mgP/l) dat verdere biologische verwijdering nauwelijks mogelijk is.

Tabel 5-8: Gemiddelde verwijderingsrendementen Phytoparking (sep 2021, n=6) – HVCH.

Parameter	Influent gem. (sep 2021)	Effluent gem. (sep 2021)	Lozingseis (max.)	Verwijdering (%)
BZV (mg O ₂ /l)	97,5 +/- 10	1,3 +/- 2,2	40	98% +/- 3%
CZV (mg O ₂ /l)	185,0 +/- 10	12,3 +/- 4,8	200	93% +/- 2%
N-tot (mg N/l)	12,2 +/- 0,7	3,7 +/- 0,3	60	70% +/- 4%
NH ₄ -N (mg N/l)	9,5 +/- 1,4	0,1 +/- 0,1	4	99% +/- 2%
P-tot (mg P/l)	0,9 +/- 0,2	0,9 +/- 0,2	6	28% +/- 12%
Nkj (mg N/l)	12,2 +/- 0,7	0,0 +/- 0,0	-	100%
ZS (mg/l)	38,0 +/- 4,9	2,3 +/- 0,7	60	94% +/- 2%

5.8 Onderhoud & kosten

Er is aanvankelijk een kosteninschatting gemaakt voor de MBR met een capaciteit van 10m³/d, zie Tabel 5-9. Dit is gedaan door de leverancier (BKH-Water). Deze kosten inschatting is niet gemaakt voor de andere technologieën bij de HVCH-pilot.

Tabel 5-9 Inschatting investeringskosten en monitoring MBR zonder buffers, zoals verkregen van BKH-Water.

Onderdeel	Aantal	Investing
Bioreactor (meerdere zones)	1	5.000,-
Membranen	2	3.000,-
Leidingwerk	1	2.000,-
Pompen (toevoer, recirculatie en backwash)	3	2.000,-
Meet en regeltechniek	1	2.000,-
Software	1	1.500,-
Monitoring	Per keer	200,-
Container unit (20 voet)	1	2.500,-
Totaal		18.200,-

De totale kosten voor de installatie (MBR + Phytoparking) die bij HVCH is gerealiseerd bedragen €257.397,07. In dit bedrag zijn de voorbereidings- en advieskosten, de materiaalkosten, aanschaf van de onderdelen en software en de bouw- en grondwerkzaamheden meegenomen. De inzet van eigen personeel, en kosten voor aanpassingen van stroomvoorzieningen zijn niet meegenomen in dit bedrag.

De werkelijke monitorings- en onderhoudskosten bedragen ongeveer €30.000 per jaar. Deze kosten kunnen per jaar verschillen doordat er aanvullend onderhoud gepleegd dient te worden. Opgemerkt wordt dat deze kosten dus ook monitoringskosten bevat (verzameling en uitvoer van analyses). Het chemicaliënverbruik is circa 10 liter chloorbleekloog per jaar.

5.9 Reflectie en leerpunten

Reflecterend op het proces wordt geconcludeerd dat de realisatie van de pilot bij HVCH niet makkelijk was. De verschillende afvalwaterstromen, soorten technologieën, doelstellingen voor hergebruik of lokale lozing, spanning tussen wettelijke kaders en circulaire ambities, en (aanbestedings)regels van Interreg maakten het een complexe puzzel. Uiteindelijk is tot een ontwerp gekomen die voldeed aan bijna alle doelstellingen én randvoorwaarden van het I-QUA project (bv begroting, planning). De enige doelstelling die niet werd behaald was de inzet van behandelde urine als meststof, omdat dit wettelijk niet toegestaan is. Wel kon ozonbehandeling met urine worden getest. Cruciaal voor dit succes was de intensieve samenwerking tussen gemeente, adviseurs, leveranciers, het waterschap en de omgevingsdienst. Er waren relatief veel afstemmingsoverleggen, met veel ruimte voor de vragen, ambities en belangen van andere organisaties (zoals het waterschap en HVCH). Door het zoeken naar koppelkansen, en tegelijkertijd de doelstellingen voor de pilot niet uit het oog te verliezen, is een pilot ontworpen waar veel draagvlak voor was. Goede documentatie van deze overleggen, besluiten en uitkomsten van tussentijds onderzoek bleek

naarmate het project vorderde essentieel. Zo kon hierop teruggerepen worden, konden de verschillende keuzes en consequenties uitgelegd worden, en is er een inhoudelijke basis gelegd voor vervolgpiloten. De notities over het wettelijk kader zijn, bijvoorbeeld, ook bruikbaar gebleken voor andere piloten van Gemeente Bernheze.

De overgang van ontwerp naar aanleg was achteraf gezien onderschat. De verschillende benodigde rioolstelsels, al aanwezige infrastructuur in de ondergrond, en aanwezigheid van meerdere leveranciers en innovatieve technieken (met elk hun eigen randvoorwaarden) bleek zeer complex. Gemeente Bernheze heeft hier snel op gereageerd door de afstemming tussen betrokkenen te intensiveren en additionele expertise in te schakelen. Uiteindelijk is de pilot succesvol aangelegd, met de kanttekening dat achteraf is gebleken dat er enkele foutieve aansluitingen aanwezig zijn (Kantine op de MBR, geen huizen aangesloten, en een onbekende verdunde lozing op de Phytoparking). Uit eerdere piloten van LeAF is gebleken dat bestaande infrastructuur, en het aanpassen daarvan, een groot aandachtspunt is bij innovatieve afvalwater systemen. Hoewel er bij HVCH veel was geïnvesteerd in dit aspect, bleek het toch niet afdoende.

De foutieve aansluitingen bleken, samen met de Covid-19 maatregelen, de grootste uitdaging voor opstart en monitoring. Vooral de afwezigheid van de geanticiperde afvalwaterstromen maakte het lastig om de technologieën op te starten. Uiteindelijk is afvalwater van een externe bron aangevoerd om de MBR op te starten. Daarnaast is de MBR batchgewijs bedreven. Zover bekend is dit niet eerder gedaan, en achteraf bleek dat dit een innovatieve en veel belovende procesvoering is. De zuiveringsprestaties waren beter dan verwacht, terwijl het stroom- en chemicaliënverbruik lager was dan vooraf ingeschat. De Phytoparking is vooral in het begin hydraulisch overbelast. Omdat het systeem online te bedienen is, is dit snel aangepast door de draaiuren van de pomp te beperken. Het overtollige influent is via de overstort in de pompput afgevoerd naar het gemeentelijk riool. De hoeveelheid en samenstelling hiervan is niet bijgehouden.

In zijn totaliteit bezien blijken de operationele- en monitoringskosten van de pilot, en dan met name de MBR-installatie, achteraf hoger uit te vallen dan verwacht. Hoewel van tevoren wel bekend was dat deze kosten voor deze technologie relatief hoog zijn, is wel duidelijk geworden dat er een optimalisatieslag nodig is om verdere uitrol van de technologie succesvol te maken. Die kansen zijn er wel omdat de (hoge) operationele kosten deel verklaard kunnen worden door de ongebruikelijke opstartfase en daardoor benodigde aanpassingen.

De MBR verwijderde voldoende BZV, CZV en TSS, zoals van deze technologie verwacht mag worden. Verwijdering van N en P bleken aandachtspunten. N-verwijdering is gedurende de monitoringsfase, en na dosering van een extra C-bron verbeterd tot concentraties die (net) voldoen aan de lozingsnormen. Verwijdering van P verbeterde pas nadat er een adsorptiekolom was toegevoegd. Het aantal meetpunten dat een acceptabele P-concentratie bevat is nog beperkt, maar het is de verwachting dat de verlaging in het opvolgende monitoringsprogramma doorgezet zal worden.

De verwijderingsrendementen van de Phytoparking waren positief, maar niet representatief voor normale omstandigheden. Het influent was namelijk zeer verdund, en zou ook zonder zuivering voldoen aan de grenswaarden voor lozing. Zuiveringsprestaties met representatiever afvalwater worden in het opvolgende monitoringsprogramma verder onderzocht.

De ozon-behandeling van urine lijkt effect te hebben op de aanwezigheid van medicijnresten, maar dit is niet met zekerheid te stellen. De verwijdering van verschillende stoffen vertoonde grote variatie en was niet voorspelbaar.

Tijdens een aantal maanden worden zo goed als alle stoffen verwijderd, en tijdens sommige maanden worden zowel goed, matig als slecht verwijderbare stoffen slecht verwijderd. Omdat er niet elke monsternamen ook een influent meting is gedaan en omdat het de verwachting is dat er iets mis was met de ozongeneratie in de laatste maanden is het lastig om met de beschikbare analyseresultaten te bepalen of de resultaten naar verwachting zijn voor een ozonbehandeling.

De randvoorwaarden, of eisen, die door Interreg werden gesteld aan het project werden geregeld als een blok aan het been ervaren. Met name de aanbestedingsregels leidde tot vertraging, administratie en soms onnodige frustratie. De intensieve samenwerking tussen partners, de zeer specialistische kennis die nodig was, en dat het onmogelijk is om een innovatietraject van tevoren volledig te overzien, maakte dat het van tevoren zeer lastig was om een volledig beeld van de kosten te verkrijgen. Gaandeweg werd er tegen de aanbestedingsregels aangelopen, maar toen bleek ook dat aanbesteding om wille van tijd, het onderlinge vertrouwen en de tot dan toe opgedane ervaringen en expertise van partners, niet wenselijk was. Ook de duurzaamheidseisen bleken gedurende het project een belangrijk aandachtspunt. De pilot bij HVCH heeft de eis voor langere inzetbaarheid vanaf het begin scherp voor ogen gehad en als randvoorwaarde meegenomen. Dit was wel spannend, omdat het welslagen van de technologie nog niet bewezen was. Uiteindelijk is samen met Interreg een oplossing gevonden voor de aanbestedingsregels, en aanbevolen wordt om dit bij vervolgprojecten anders vorm te geven. Daarnaast kan de technologie die bij HVCH gepilot is langer worden ingezet, waardoor voldaan wordt aan de duurzaamheidseisen.

5.10 Conclusies en vervolg

De doelstelling van deze pilot was om nieuwe afvalwatertechnologieën voor het buitengebied te testen op het afvalwater van voetbalvereniging HVCH in Heesch, en mogelijke terugwinning van grondstoffen te onderzoeken. Hiermee wordt ervaring opgedaan waarop toekomstige keuzes voor doelmatige omgang met afvalwater in het buitengebied kunnen worden gebaseerd. In de pilot is de behandeling getest en gemonitord van zwartwater van toiletten, grijswater van de kantine, urine van waterloze urinoirs en grijswater van de douches.

De pilot heeft aangetoond dat het mogelijk is om afvalwater lokaal te behandelen met een MBR, ozoninstallatie en Phytoparking. Kanttekening hierbij is dat de nutriëntenverwijdering een belangrijk aandachtspunt is, en dat dit verdere ontwikkeling behoeft. Hoewel een pilot altijd duurder is dan uitrol van een al bewezen technologie, zijn de investerings- en operationele kosten een belangrijk aandachtspunt voor vervolg. De Phytoparking zal zich de komende tijd moeten gaan bewijzen door representatiever afvalwater te zuiveren. Ondanks de opstartproblemen, foutieve aansluitingen en effecten van de Covid-19 maatregelen kan (voorzichtig) worden geconcludeerd dat de gepilote technologieën veel belovend zijn voor toepassing in het buitengebied.

De behandelde urine heeft een bemestende waarde omdat dit (veel) N, P, K en micronutriënten bevat. De Nederlandse wetgeving liet het echter niet toe om dit ook daadwerkelijk te testen. Het behoeft verder onderzoek om de veiligheid voor landbouwkundige toepassing vast te stellen.

De pilot bij HVCH was een relatief complexe pilot om op te zetten, omdat er verschillende afvalwaterstromen apart ingezameld, getransporteerd en gezuiverd worden. Het rioolontwerp werd hierdoor complex (3 rioolstelsels in plaats van 1), en er was veel afstemming nodig tussen de verschillende betrokken organisaties (overheden, leveranciers, adviseurs). Uiteindelijk is het wel gelukt om de pilot dusdanig te ontwerpen en op te zetten dat deze voldeed aan de doelstellingen. Dit succes is toe te schrijven aan de nauwe en intensieve samenwerking tussen verschillende overheden, adviseurs en leveranciers.

5.10.1 Toekomst

De pilot bij HVCH zal de komende twee jaar nog gemonitord gaan worden. Gedurende deze twee jaar wordt ook ingezet op het testen van andere opstellingen, om zo meer ervaringen op te doen met de technologieën, en alternatieven voor omgang met afvalwater in het buitengebied te ontwikkelen.

De volgende configuraties worden getest:

- Verder verlagen van N en P concentraties in het effluent van de MBR, om beter aan de doelstellingen en ambities te voldoen.
- Het effluent van de MBR wordt toegevoegd aan het influent van de Phytoparking. De Phytoparking wordt nauwelijks belast, en zo kunnen de N en P concentraties verder worden verlaagd. Ook heeft dit als doel om zoveel mogelijk water in het gebied vast te houden en zo min mogelijk water te lozen op het riool.
- Voor dit doel wordt verder onderzocht welke maatregelen getroffen dienen te worden om het effluent te lozen in de bodem.
- BKH Water gaat testen uitvoeren met het verwijderen van de biologische stap uit de MBR. Zo wordt het afvalwater enkel fysisch-chemisch gezuiverd, wat een groot ruimte-voordeel oplevert. De concentraatstroom zal wel worden afgevoerd naar het riool.
- De concentraat- en urinestromen worden geloosd op het gemeentelijk riool. Zo wordt ook ervaring opgedaan het met afvoeren van geconcentreerde afvalwaterstromen, en lokaal verwerken van verdunde waterstromen. Het effluent van de Phytoparking kan vervolgens lokaal worden ingezet tegen verdroging.
- Mogelijk dat stresstesten met de Phytoparking worden uitgevoerd om te testen hoe deze technologie omgaat met verhoogde nutriëntconcentraties. Dit wordt komende tijd uitgewerkt.

Na afronding van deze periode zullen de ondergrondse infrastructuur en complete Phytoparking blijven staan. De container met MBR zal wellicht elders in het buitengebied van Bernheze worden toegepast. De verschillende mogelijkheden hiervoor worden momenteel geïnventariseerd.

6 Carwash (Gilze-Rijen)

6.1 Toelichting pilot

In het buitengebied in Nederland geschiedt de afvalwaterafvoer veelal via drukriolering of vacuümriolering. Op bepaalde plekken heeft deze haar maximale capaciteit bereikt of is aan vervanging toe. Daarnaast is het ongewenst om sterk vervuild afvalwater op de drukriolering te laten lozen. Zo ook het afvalwater van autowasstraten, dat veel zand, olieachtige bestanddelen, fijn stof (o.a. roetdeeltjes), straatvuil en reinigingsmiddelen bevat. Men zoekt naar een toekomstbestendige oplossing voor omgang met het sterk vervuilde afvalwater in het buitengebied. Hierbij ligt de focus op waterhergebruik en het creëren van meer afvoercapaciteit van het bestaande drukrioleringssysteem.

De algemene doelstelling van deze pilot was om nieuwe afvalwaterzuiveringstechnologieën voor het afvalwater van de autowasstraat in Gilze (Carwash Gilze) te testen. De pilot is opgezet om het afvalwater lokaal te zuiveren en op te werken naar een kwaliteit waarbij het weer ingezet kan worden als waswater. Zo wordt niet alleen een lozing op het persriool sterk verminderd, maar wordt de drinkwatervraag van de Carwash ook verlaagd.

Ontwikkeling en bouw: medio 2017 - voorjaar 2021

Monitoringsperiode: medio 2021 - eind 2021

Huidige status (maart 2022): project afgesloten, unit is functionerend maar buiten werking gesteld, geen monitoring en zal worden verwijderd

Toegepaste technieken:

- Buffering van het afvalwater
- Olie en vetafscheiding
- Scheiding van vast en vloeibaar afval/afvalwater
- RO-filtratie
- Filtraat opslag met UV-desinfectie

6.2 Situering

Carwash Gilze ligt aan de Nerhoven in het buitengebied van de kern Gilze. De Carwash bestaat uit 4 wasboxen, één open en drie overdekt, en maakt voor het wassen van de auto's gebruik van drinkwater. Circa 20-30% van de watervraag wordt met een RO-installatie behandeld om het calcium uit het water te verwijderen. Hiermee wordt een schoner was- en spoelresultaat bewerkstelligd. Per wasbeurt wordt er circa 70-80 liter water verbruikt. Dit water werd, voordat de pilot er was, op de drukriolering geloosd. Hiervoor betaalde de Carwash riool- en zuiveringsheffingen.

6.3 Wettelijke kaders

Het doel van de pilot was zuivering van het afvalwater met het oog op hergebruik in de Carwash, en eventueel bodemlozing van het niet-gebruikte water in de omgeving.

Het effluent diende primair te voldoen aan de eisen voor hergebruik. Daarnaast moest worden voldaan aan de eisen voor lozing in de omgeving.

6.3.1 Effluentkwaliteit voor hergebruik

De eigenaar van de Carwash heeft aangegeven dat de kwaliteit van het gezuiverde afvalwater gelijk moet zijn aan de eisen zoals weergegeven in Tabel 6-1. Deze eisen komen voort uit meetgegevens van verschillende, andere, projecten, en een selectie van parameters uit het [Bijlage A, Drinkwaterbesluit](#). De voornaamste reden om uit te gaan van drinkwaterkwaliteit was preventie van legionellabesmettingen in verband met de verneveling van water tijdens het wassen. Om budgettaire redenen zijn niet alle parameters uit het Drinkwaterbesluit opgenomen als doelstelling voor de Carwash pilot. Enkel de meest relevante zijn door de eigenaar en leverancier van de technologie geselecteerd.

Tabel 6-1. Overzicht kwaliteitsparameters gebaseerd op wettelijke eisen en andere metingen gesteld aan drinkwater voor de Carwash pilot.

Parameter	Eenheid	Meetresultaten drinkwater van eerdere projecten			Eisen uit Drinkwaterbesluit	
		Laagst gemeten	Gemiddeld gemeten	Hoogst gemeten	Wettelijk minimum	Wettelijk maximum
Aluminium	µg/l	1,1	3,7	6,9		200
Arseen	µg/l	<0,5	1	2,4		10
Boor	mg/l	0,02	0,04	0,05		0,5
Calcium	mg/l	38	41	46		-
Chloride	mg/l	58	75	93		150
Koolstofdioxide	mg/l	1,7	2,5	3,5		-
EGV (elek. geleid.verm. 20°C)	mS/m	44,3	53,1	58,1		<125
Fluoride	mg/l	0,05	0,08	0,12		1
IJzer	mg/l	<0,01	<0,01	0,02		0,2
Troebeling	FTU	<0,03	<0,03	0,14		1
Waterstof-carbonaat	mg/l	159	175	194	>60	
Kwik	µg/l	<0,02	<0,02	<0,02		1
Totale hardheid	mmol/l	1,27	1,37	1,49	>1.0	
Totale hardheid	°Duits	7,1	7,7	8,3	>5.6	
Kleurgetal	mg/l Pt	<1	1	2		20
Magnesium	mg/l	6,1	8,1	10,5		-
Mangaan	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01		0,05
Natrium	mg/l	50	62	77		150
Ammonium	mg/l NH ₄	<0,02	<0,02	0,03		0,2
Nitriet	mg/l NO ₂	<0,007	<0,007	0,008		0,1
Nitraat	mg/l NO ₃	1,21	3,08	4,46		50

Parameter	Eenheid	Meetresultaten drinkwater van eerdere projecten			Eisen uit Drinkwaterbesluit	
		Laagst gemeten	Gemiddeld gemeten	Hoogst gemeten	Wettelijk minimum	Wettelijk maximum
Zuurstof, opgelost	mg/l	6,1	7,4	9	>2	
pH berekend	pH	7,85	8,06	8,25	7	9,5
Seleen	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5		10
TOC	ppm	2,2	2,2			
Sulfaat	mg/l	6	26	48		150
Temperatuur	°C	15	17,9	20,7		25
Totaal organisch koolstof	mg/l	1,1	2,2	3,3		-
Aeromonas	kvd/100ml	0	60	434		1000
Clostridium perfringens	kvd/100ml	0	0	0		0
Coli 37°C	kvd/100ml	0	0	0		0
Enterococcen	kvd/100ml	0	0	0		0
Koloniegetal 22°C	kvd/ml	0	8	207		100
Legionella	kvd/l	<100	<100	<100		<100

6.3.2 Grenswaarden voor lozing

Indien het effluent niet wordt hergebruikt als waswater zou het worden geloosd in een nabijgelegen greppel. Deze greppel stond het merendeel van de tijd droog.

Omgang met afvalwater van een autowasplaats is geregeld in het [Activiteitenbesluit, artikel 3.23a t/m 3.24](#). Voor lozing op of in de bodem is een maatwerkvoorschrift van de gemeente nodig ([art. 2.2 Am](#)), en voor lozing in een oppervlaktewater zal (afhankelijk van de watergang) het waterschap bevoegd gezag zijn.

Eisen voor het lozen in de bodem zijn, afhankelijk van of er een bodem beschermende voorziening is getroffen, 95% verwijdering van gewasbeschermingsmiddelen en 20 mg/l olie.

Lozing op of in de bodem, of een oppervlaktewater, is echter in de pilot niet verder uitgevoerd op locatie. In plaats daarvan is, op basis van het proces doorlopen bij HVCH (Hoofdstuk 5), door Gemeente Bernheze en Gemeente Gilze-Rijen besloten om de grenswaarden voor lozing op een niet-aangewezen oppervlaktewater te hanteren (Tabel 6-2). Hiermee zou ook voldaan worden aan lozing op of in de bodem. In combinatie met de parameters voor drinkwaterkwaliteit zou zo ook voldoende informatie verzameld worden om in de toekomst eventueel een Watervergunning bij het waterschap aan te vragen.

Voor de pilot bij de Carwash in Gilze-Rijen is uitgegaan van effluent (permeaat) dat voldoet aan de kwaliteitseisen voor drinkwater en dus kan worden hergebruikt (Tabel 6-1). Het concentraat en andere restromen zijn op de riolering afgevoerd. De parameters BZV, CZV, ZS en P totaal komen hier niet in voor. Voor deze parameters geldt de doelstelling voor lozing in oppervlaktewater, zoals in de tweede en derde kolom in Tabel 6-2 weergegeven.

Tabel 6-2. Grenswaarden voor lozen in een oppervlaktewaterlichaam, in mg/l op basis van het Activiteitenbesluit en Blbi (vetgedrukte waarden zijn uitgangspunten voor pilot).

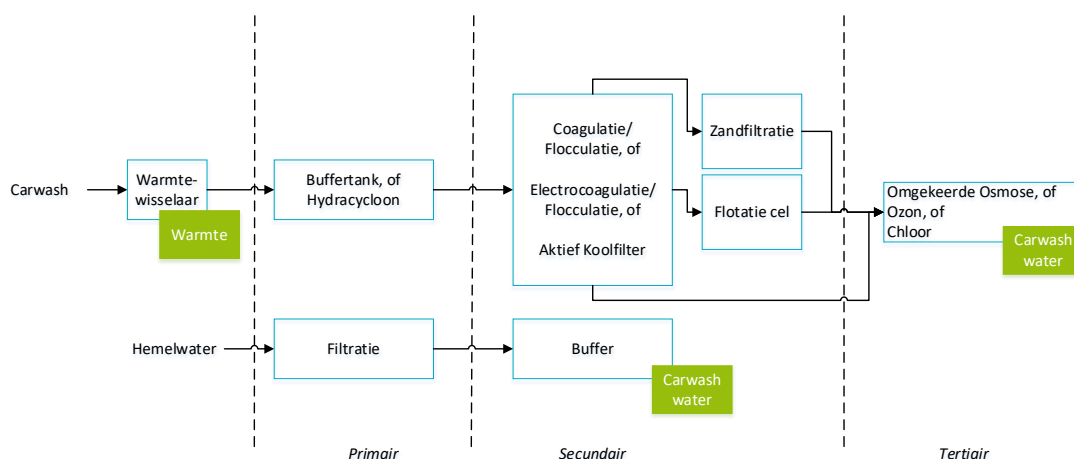
Parameter	Lozen in een niet aangewezen oppervlaktewaterlichaam		Lozen in een aangewezen* oppervlaktewaterlichaam, of bodem	
	Representatief etmaalmonster	Steekmonster	Representatief etmaalmonster	Steekmonster
BZV (mg/l)	20	40	30	60
CZV (mg/l)	100	200	150	300
Onopgeloste stoffen (mg/l)	30	60	30	60
Totaal stikstof (mg N/l)	30	60	-	-
Ammoniumstikstof (mg N/l)	2	4	-	-
Fosfor totaal (mg P/l)	3	6	-	-

* Een aangewezen oppervlaktewaterlichaam is een oppervlaktewater dat met het oog op lozen geen bijzondere bescherming behoeft. Zie [artikel 1.7](#), eerste lid, onderdeel b, van het Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer.

6.4 Technologiekeuze

6.4.1 Oplossingsrichtingen

Het proces om te komen tot een technologiekeuze bij de Carwash is samen met het proces voor de technologiekeuze bij HVCH doorlopen (Hoofdstuk 5). UGent heeft eerst een shortlist van mogelijke oplossingsrichtingen opgesteld (Figuur 6-1).



Figuur 6-1 Technologieën beschreven in de shortlist voor Carwash Gilze-Rijen. De terug te winnen grondstoffen zijn in groen weergegeven (Bron: Brief shortlist Carwash Gilze SVH MB 3 oktober 2017 3D).

Een aantal technologieën beschreven in Figuur 6-1 zijn niet meegenomen in het verdere keuzeproces omwille van de volgende redenen:

- De primaire scheiding bleek niet nodig omdat de Carwash zelf een olie- en vetafscheider heeft geïnstalleerd.
- Het water voor gebruik in de Carwash wordt opgewarmd tot 40°C. Een deel hiervan gaat verloren tijdens het wassen van de auto's, maar het afvalwater bevat voldoende warmte om ook terug te winnen.

Uiteindelijk is besloten om de warmtewisselaars niet toe te passen omdat dit geen onderdeel is van de zuiveringsinstallatie. Wel is de optie voorgelegd aan de eigenaar van de Carwash.

Op basis van de shortlist is per zuiveringsstap een Multi Criteria Analyse (MCA) uitgevoerd door Gemeente Gilze-Rijen en Gemeente Bernheze in samenspraak met een aantal experts. Elke technologie heeft per criterium een score gekregen. Door deze score met een toegekende wegingsfactor (Tabel 6-3) te vermenigvuldigen en de producten hiervan op te tellen is er per technologie een eindscore bepaald (Tabel 6-4). Bijlage 3 bevat een onderbouwing van de verschillende scores, per zuiveringsstap en technologie.

De uitkomsten van de MCA zijn voorgelegd aan experts tijdens een I-QUA expertmeeting (21 maart 2018).

Tabel 6-3. MCA-criteria en weging per zuiveringsstap van de Carwash pilot.

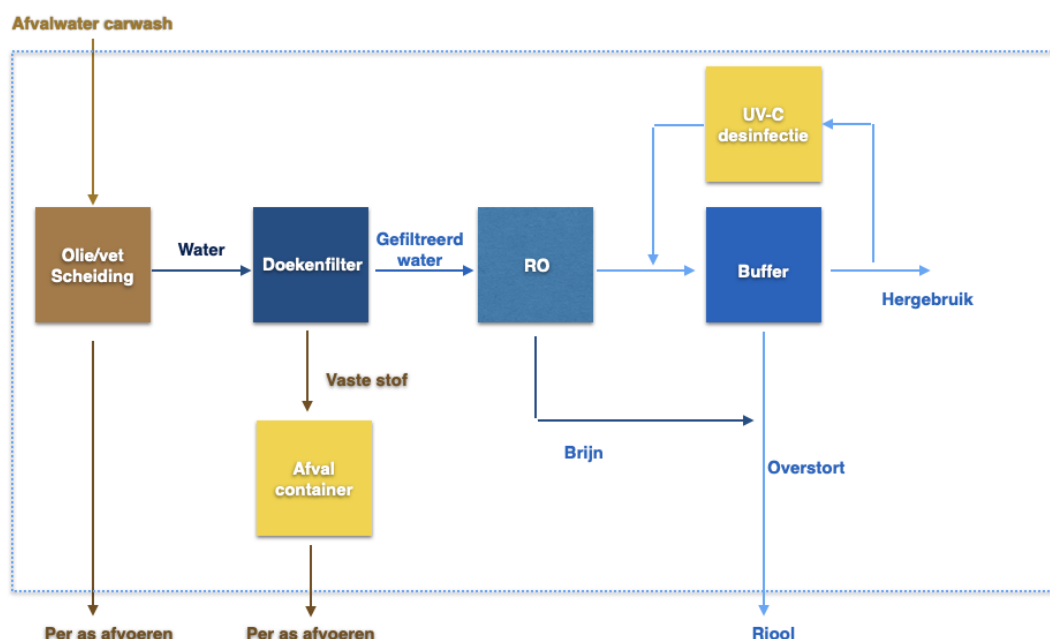
	Primair (urine)	Secundair	Tertiair
Investing	5	5	4
<i>Eenvoud/ complexiteit</i>	4	4	4
<i>Bedrijfsvoering</i>	-	3	3
<i>Vereenvoudiging mogelijk (dosering weglaten)</i>	-	1	-
<i>Energieverbruik</i>	3	3	3
<i>Milieubelasting (80% = energie en chemicaliën)</i>	3	4	3
Onderhoud	4	4	4
<i>Hoeveelheid slib</i>	4	-	-
<i>Bereikbaarheid</i>	5	3	3
Waterkwaliteit	3	4	5
<i>Vlokvorming in systeem bij dosering</i>	4	-	-
<i>Vlokaafbraak momenten</i>	3	-	-
<i>Risico aerosolen</i>	-	-	5
<i>Veiligheid omgeving</i>	-	-	3
<i>Hydraulica (VTS, stagnante zones)</i>	3	-	-
<i>Waterverlies</i>	3	3	3
Flexibiliteit	3	3	4
<i>Aanpasbaarheid (vergroten/verkleinen doorlaten)</i>	1	4	4
<i>Vlokvorming aanpassen zomer/winter</i>	3	2	-
Robuustheid	4	4	4
<i>Invloed watertemperatuur</i>	2	3	3
<i>Invloed waterkwaliteit (ZS en OS-concentraties)</i>	4	3	3
<i>Invloed eventueel ander vlokmiddel op vangen</i>	3	-	-

Tabel 6-4. MCA-resultaten als som van de gewogen scores per technologie van de Carwash pilot.

	MCA-resultaat
Primair	
Buffer + bezinking	235
Buffer + Hydrocycloon	180
Secundair	
Coagulatie + zandfilter	162
Electrocoagulatie + flotatie	111
Actief koolfilter	155
Tertiair	
Ultrafiltratie + omgekeerde osmose	209
Ozon	169
UV	181

6.4.2 Definitieve technologie keuze en onderbouwing

Op basis van de expertmeeting en ontvangen feedback is vervolgens een definitieve technologiekeuze gemaakt. Naar aanleiding hiervan zijn de coagulatie en electro-coagulatie technologieën als secundaire zuiveringsstappen heroverwogen. Figuur 6-2 toont een schematisch overzicht van het definitieve ontwerp.



Figuur 6-2. Stroomschema met definitieve technologieën voor de I-QUA pilot Carwash. (Bron: Erwin Koetse 25-02-22).

Onderbouwing keuze buffertank

Op zaterdagdagen vindt bij de Carwash piekbelasting plaats. Om deze pieken in het influent debiet af te vlakken is een buffertank opgenomen. De buffertank kon ook dienen als zand en olieafscheiding, die wettelijk verplicht is voor een Carwash. Het nadeel van de hydrocycloon was dat dit mogelijk niet zou voldoen aan de wettelijke verplichtingen, en er bij de Carwash een additionele pomp nodig zal zijn. Het voordeel is een kleiner ruimtegebruik.

Uiteindelijk is voor de buffertank gekozen vanwege de wettelijke zekerheid. Daarnaast bleek ook tijdens het proces dat er al een buffertank aanwezig was bij de Carwash, waardoor deze investeringskosten wegvielen.

Onderbouwing keuze doekenfilter

Het afvalwater van de Carwash bevat veel zwevende stof (onopgeloste stoffen). Deze kan het RO-filter snel bevuild, waardoor het in de secundaire zuiveringsstap verwijderd dient te worden. Coagulatie en elektrocoagulatie hebben een te laag verwijderingsrendement. Andere opties voor het verwijderen van de zwevende stof zijn ultrafiltratie (UF) en trilzeef. De UF viel vanwege de onderhoudskosten af, omdat deze te snel zou verstopten. Trilzeven hebben lage operationele kosten en een hoge bedrijfszekerheid. Tevens zijn ze eenvoudig in gebruik. Echter bleek de kleinste doorlaat van de trilzeef niet klein genoeg. Aangezien een doekenfilter een hoger verwijderingsrendement (circa 85%) heeft dan een trilzeef, is deze technologie geselecteerd als secundaire zuivering.

Onderbouwing keuze Kaarsenfilters

Na het doekenfilter wordt het afvalwater nog door twee kaarsenfilters, met daarin verschillende kaarsen, geleid tot een filterfijnheid van 1 μm . Dit is gedaan om de gebruiksduur van de opvolgende RO-membranen te verlengen.

Onderbouwing keuze Omgekeerde Osmose (Reverse Osmosis; RO)

Omgekeerde osmose (RO) membranen kunnen naast monovalente ionen ook strooizout en andere zouten (bijvoorbeeld coagulant), kalk, koper, lood en zink verwijderen uit het afvalwater. Deze techniek is tevens een goede barrière voor pathogenen, hoewel verdere desinfectie wel wordt aangeraden als het water wordt hergebruikt.

Onderbouwing keuze UV

Extra desinfectie was noodzakelijk om de groei van legionellabacteriën, en eventuele andere risico's voor de volksgezondheid, te voorkomen. Hiervoor zijn UV en ozon overwogen. Uit de MCA bleek UV beter te scoren dan ozon, met name vanwege de veiligheid en mogelijke restproducten in de vorm van afgas. Ook haalt UV een zeer hoge desinfectiegraad (100% mits goed onderhouden en het water helder is). Nadeel van UV zijn de beperkte levensduur van de UV-lampen (circa 8000 uur). Uiteindelijk is besloten om het effluent na te behandelen met UV.

6.5 Pilot opzet

6.5.1 Algemene uitgangspunten

Tijdens het ontwerpproces bleek dat er weinig bekend was over het totale waterverbruik van de Carwash, en de samenstelling hiervan. Uiteindelijk is uitgegaan van een waterverbruik van gemiddeld 70 tot 80 liter per auto, zoals weergegeven in het BBT voor car- en truckwash (Huybrechts, e.a., 2002). Daarnaast is geschat dat er dagelijks 24 auto's worden gewassen, met een piek op zaterdag van 46 auto's. Het waterverbruik van de Carwash is zo berekend op 1,9 m^3 per dag, waarbij het verbruik op zaterdag 3,7 m^3 is. Dit komt neer op een waterverbruik van 15,20 m^3 /week.

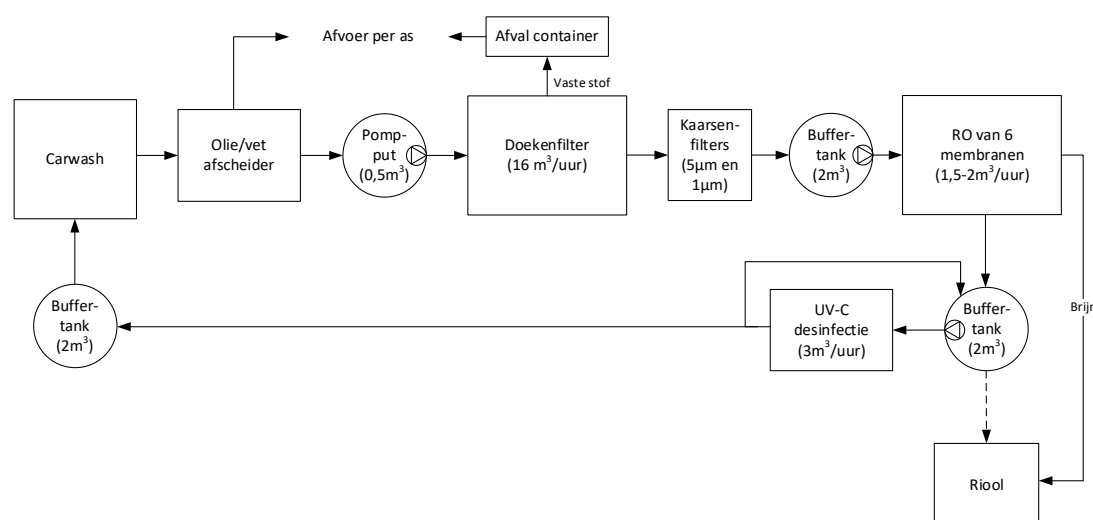
De waterbron voor de Carwash betreft drinkwater. Circa 70-80% van de watervraag is zonder voorbehandeling. De overige 20-30% is behandeld met een RO-installatie om de kalk uit het drinkwater te verwijderen. Verwijdering van kalk uit het water is noodzakelijk omdat dit het wasresultaat ten goede komt.

De afvalwaterkarakteristieken zijn bepaald door een steekmonster. De COD- en BOD-concentraties van het spoelwater waren respectievelijk 324 en 138 mg/L. De turbiditeit bedroeg 101 NTU. De pH was 6,95. De geleidbaarheid was 424 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En de concentraties van $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ en $\text{NO}_3^{-}\text{-N}$ waren respectievelijk 11,40 en 8,8 mg/L.

Voor de verwerking van het afvalwater van de Carwash is uitgegaan van een installatie die in de basis 4.395 m^3/jaar aan afvalwater moest kunnen behandelen (1,5 m^3/uur). Dit is gebaseerd op een afvalwaterproductie van 4.000 m^3 per jaar en 395 m^3 aan hemelwater dat potentieel op het dak van de Carwash opgevangen kan worden.

6.5.2 Algemene procesbeschrijving

Figuur 6-3. toont de PFD van de installatie van de pilot Carwash. Het afvalwater van de Carwash stroomt onder vrijval via een olie/vet afscheider naar een pompput (0,5 m^3). Vanaf hier wordt het afvalwater via een doekenfilter en tweemaal kaarsenfilters naar een buffertank gepompt. Vanuit de buffertank wordt het water door een RO-installatie gepompt, waarna het weer in een buffertank wordt opgeslagen. De concentraatstroom van de RO (brijn), wordt op het riool geloosd. Het water in de buffertank wordt continu door een UV-C desinfectiestap gepompt, om aangroei van (legionella)bacteriën te voorkomen. Achter de UV-installatie is een driewegklep gemonteerd, die het water van de UV-installatie naar de buffertank achter de RO-installatie, of de buffertank van de Carwash, kan sturen. Deze klep wordt door het waterniveau in de buffertank van de Carwash aangestuurd. De buffertank achter de RO-installatie bevat een overloop die op het riool is aangesloten. Zo kan overtollig effluent weglopen.

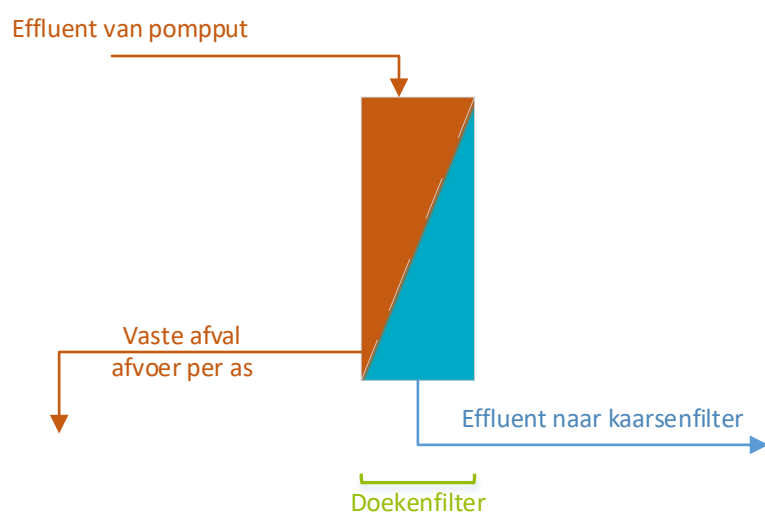


Figuur 6-3. Schematische weergave van het systeem van pilot Carwash (bron: LeAF).

Het systeem verwerkt slechts een klein deel van het opgevangen hemelwater. De oorzaak hiervoor is dat één van de wasstraten in de openlucht is, en daardoor hemelwater opvangt. De andere wasstraten zijn overdekt, en de infrastructuur bij de Carwash bood niet de gelegenheid om dit water ook te behandelen. Het volume van het hemelwater dat vanuit de ene open wasstraat de zuivering instroomt is niet bekend.

6.5.3 Doekenfilter

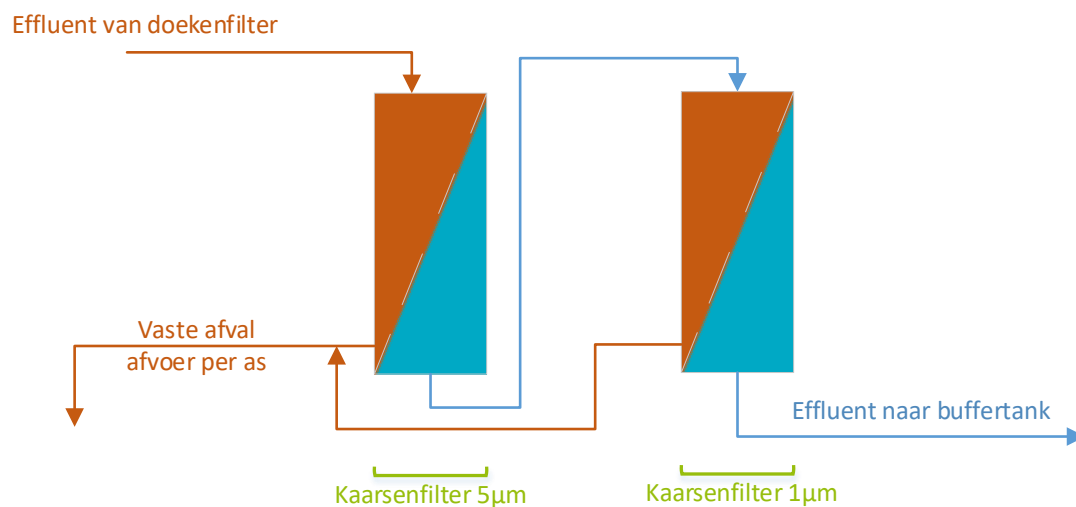
Het doekenfilter filtreert het inkomende afvalwater tot circa 10 micrometer, en heeft een hydraulische capaciteit van 16 m³/uur. Hiermee worden zand, vezels, grof organisch materiaal en het meeste fijnstof afgevangen. Het vaste afval uit de doekenfilter wordt per as afgevoerd naar de vuilverbranding. Het water wordt vanuit een opvangbak onder het doekenfilter naar de kaarsenfilters gepompt. Een schematische weergave van het doekenfilter wordt weergegeven in Figuur 6-4.



Figuur 6-4 Schematische weergave van een doekenfilter.

6.5.4 Kaarsenfilters

De twee kaarsenfilters zijn in serie geschakeld, van grof naar fijn met een doorlaat van 5 µm en 1 µm. Ten tijde van schrijven werden de kaarsenfilters nog zonder additionele chemicaliën bedreven. Deze optimalisatiestap, waardoor de onderhoudskosten van de RO-installatie teruggedrongen kunnen worden, kon vanwege de te korte monitoringsfase niet worden uitgevoerd. Een schematische weergave van de kaarsenfilters is weergegeven in Figuur 6-5.

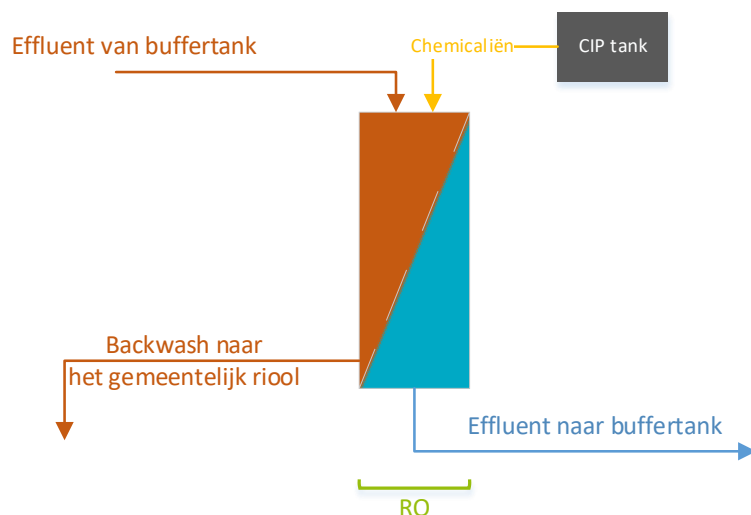


Figuur 6-5 Schematische weergave van in serie geschakelde kaarsenfilters.

6.5.5 RO-installatie

De RO-installatie heeft een nominale capaciteit van 1,5 m³/uur, en kan maximaal 2,2 m³/uur verwerken. De installatie bestaat uit 6 membranen verdeeld over 1 skid (zie Figuur 6-6).

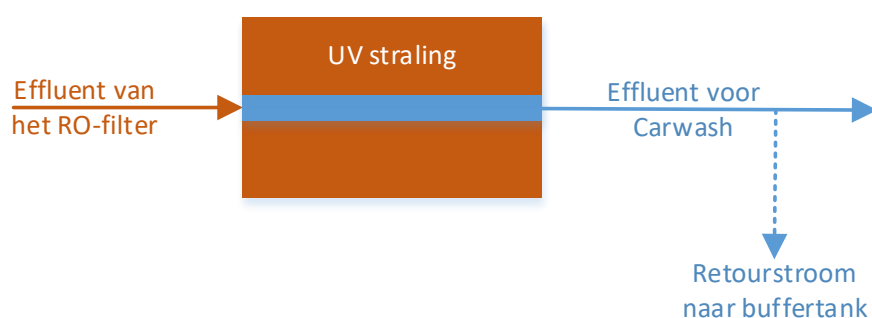
De RO-installatie wordt batchgewijs bedreven. De membranen worden periodiek chemisch gereinigd (CIP=Chemical in Place Cleaning) met een antiscalant om vervuiling zoveel mogelijk te voorkomen. De membranen zullen echter na verloop van tijd vervuild raken. Dit wordt bijgehouden door de druk en de productie van permeaat in de skid te monitoren. Als de transmembraandrukken te hoog oplopen, en niet meer afdoende verlaagd worden door de CIP, zullen de membranen gewisseld moeten worden.



Figuur 6-6 Schematische weergave van de RO-installatie.

6.5.6 UV-installatie

Het effluent van de RO-installatie wordt via een UV-installatie naar de Carwash gepompt. Als de Carwash geen watervraag heeft, stroomt het water van de UV-Installatie terug naar de buffertank achter de RO-installatie. Micro-organismen die aanwezig zijn en zich vermeerderen in de permeaat buffer worden zo onder controle gehouden. De nominale capaciteit van de UV-installatie (type Proline GSA1-B80VIK) is 3 m³/uur. De UV-installatie kan een maximaal debiet van 10 m³/uur aan. Er is 1 lagedruk UVC-lamp van 80 W (geschatte levensduur 8.000 uur) en 4-20 mA UV-intensiteit sensor geïnstalleerd. Tevens is er een automatisch was-mechanisme voor de kwartsbuis opgenomen. Bij een UVT₁₀ ≥ 97%, heeft de installatie een gemiddelde UV dosis ≥ 50 mJ/cm². Een schematische weergave van het UV-filter is weergegeven in Figuur 6-11.



Figuur 6-7 Schematische weergave van een UV-filter.

Indien er bij de Carwash geen watervraag is, wordt het overtollige gezuiverde water op het gemeentelijk persriool geloosd.

6.6 Monitoringsprogramma

Het monitoringsprogramma in het kader van de Carwash pilot in Gilze-Rijen was erop gericht om de werking van het zuiveringssysteem te beoordelen. Dit is getoetst aan de wettelijke eisen voor drinkwaterkwaliteit en lozing van gezuiverd afvalwater in een niet aangewezen oppervlaktewater (Tabel 6-1 en Tabel 6-2). Vanwege de kosten zijn niet alle drinkwater-parameters geanalyseerd.

Aquafin heeft het bemonsteringsprogramma opgestart en uitgevoerd. Door Aquafin zijn 16 monsters (8 influent monsters en 8 effluent monsters) verzameld in de periode 26-08-2021 t/m 18-10-2021. Alle monsters zijn op alle parameters geanalyseerd, alleen het totaal organisch koolstof van het monster van 4 oktober kon niet worden bepaald vanwege een mislukte analyse. Minerale olie werd bij drie monsters geanalyseerd. Vervolgens heeft BKH Water t/m eind december 2021 nog 5 steekmonsters van het influent geanalyseerd en zijn 5 effluent monsters door Xigna geanalyseerd op hun standaard waterpakket en op verschillende microbiologische parameters. In de evaluatie van de resultaten in de volgende paragraaf zijn de analyses van BKH Water buiten beschouwing gelaten, gezien deze slechts informatie geven over het influent en er grote overeenkomsten zijn met de data van Aquafin.

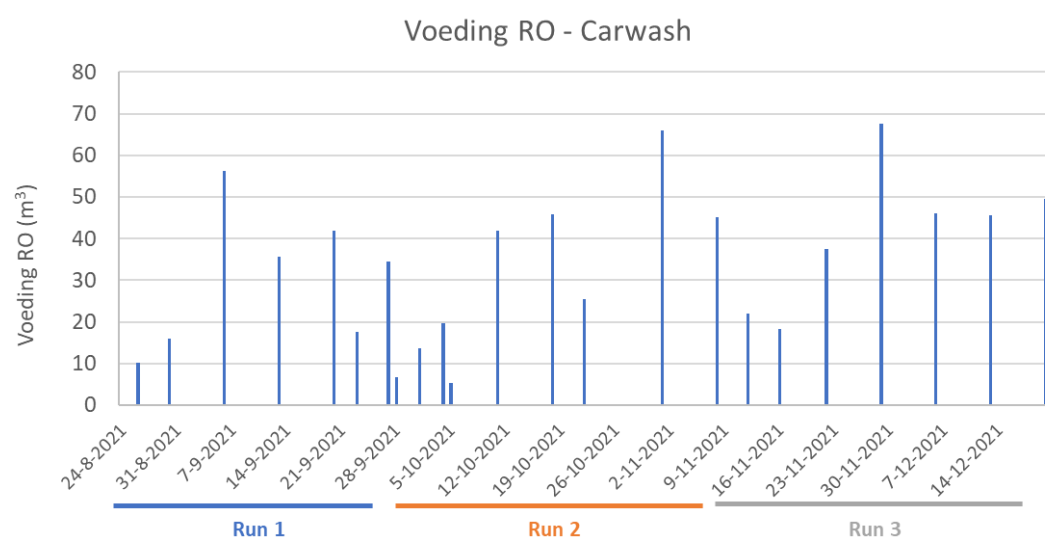
6.7 Evaluatie en resultaten

De zuiveringsinstallatie werd gedurende de pilot gevoed met afvalwater van de Carwash. De installatie bestond in eerste instantie uit RO-membranen voorafgegaan door een doekenfilter en kaarsenfilter. Gedurende de opstart

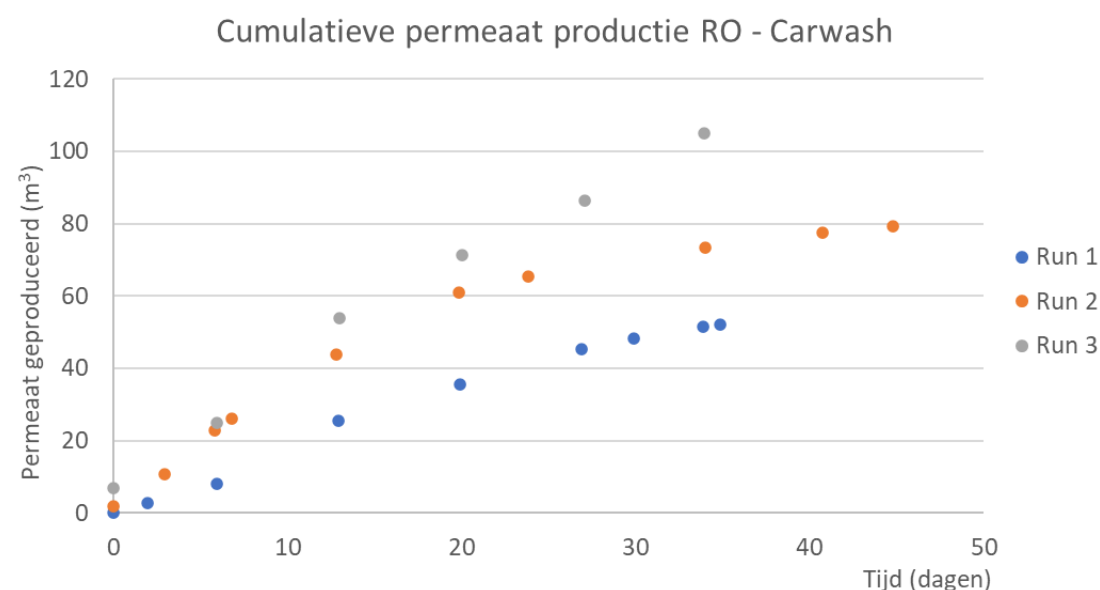
bleek echter dat de RO-membranen zeer snel vervuilden (en na elke run vervangen dienden te worden). De kaarsenfilter is toen verkleind, en een zakfilter is ter optimalisatie toegevoegd. Toen dit ook niet voldoende bleek (de kaarsenfilter verstopte zeer snel), is de zakfilter vervangen voor een kaarsenfilter met kleinere doorlaat. Zodoende is in een drietal ‘runs’ het zuiveringssysteem als volgt geoptimaliseerd:

- 24-08-2021 (start run 1): Doekenfilter > kaarsenfilter 5 μm > RO
- 28-09-2021 (start run 2): Doekenfilter > kaarsenfilter 1 μm > zakfilter > RO
- 12-11-2021 (start run 3): Doekenfilter > kaarsenfilter 5 μm (nieuwe behuizing) > kaarsenfilter 1 μm > RO

De RO-installatie produceert gezuiverd water (permeaat) en afgescheiden water dat de vervuilingen bevat (concentraat, ofwel brijn). De voedingsvolumes van de RO-installatie van de Carwash tijdens de pilot periode zijn weergegeven in Figuur 6-8, onderverdeeld in de drie runs zoals hierboven beschreven. In Figuur 6-9 is de cumulatieve permeaat productie weergegeven, wat inzicht geeft in hoeveel gezuiverd water er is geproduceerd.



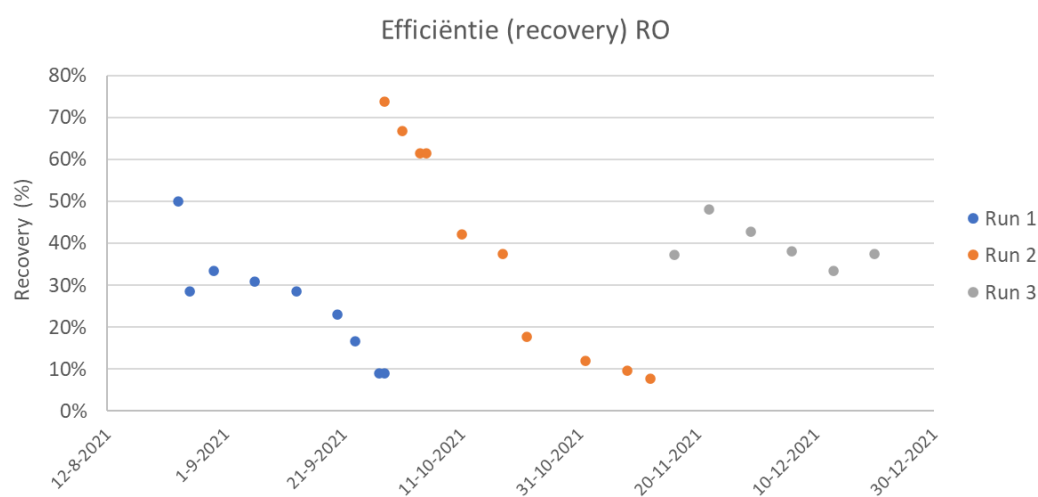
Figuur 6-8. Voeding RO-installatie bij Carwash.



Figuur 6-9. Cumulatieve permeaat productie RO-installatie- Carwash.

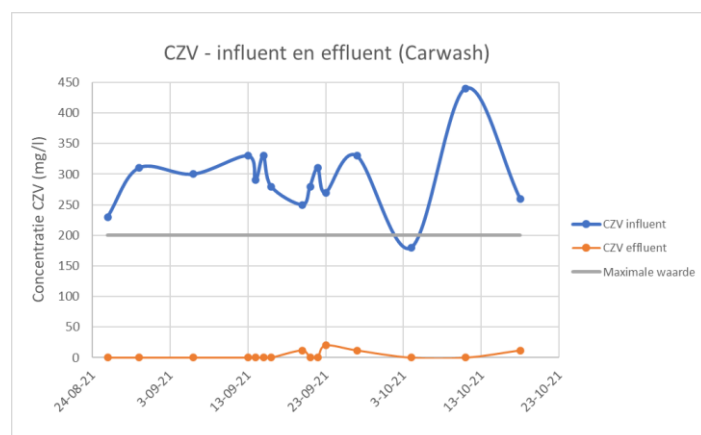
Hieruit blijkt dat tijdens run 1 een hoeveelheid permeaat is geproduceerd van 52 m³. Het bijplaatsen van het zakfilter gaf een verbetering naar 79 m³ permeaat (run 2). De grootste optimalisatie is echter gemaakt met het plaatsen van het polishing kaarsenfilter (run 3). Rond eind december betrof de totale productie 113 m³ en waren de RO-membranen nog niet aan vervanging toe. Ook lag de efficiëntie van de RO-membranen met 39% permeaat productie boven het gemiddelde van 31% (alle runs samen). Dit blijkt ook uit Figuur 6-10, waarin de efficiëntie van de RO-installatie wordt weergegeven. De efficiëntie is een maat voor de staat van de membranen, die gedurende het gebruik steeds verder vervuilen en uiteindelijk vervangen dienen te worden. De efficiëntie wordt uitgedrukt als de hoeveelheid geproduceerd permeaat gedeeld door de hoeveelheid voeding (efficiëntie = permeaat/ voeding). In run 3 behouden de membranen beduidend beter hun efficiëntie dan in runs 1 en 2.

De verhoogde efficiëntie bij de start van elke run is toe te schrijven aan het plaatsen van nieuwe membranen bij aanvang.

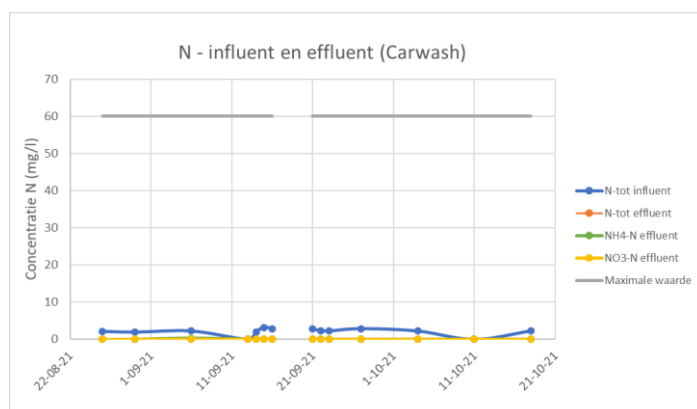


Figuur 6-10. Efficiëntie RO-installatie – Carwash.

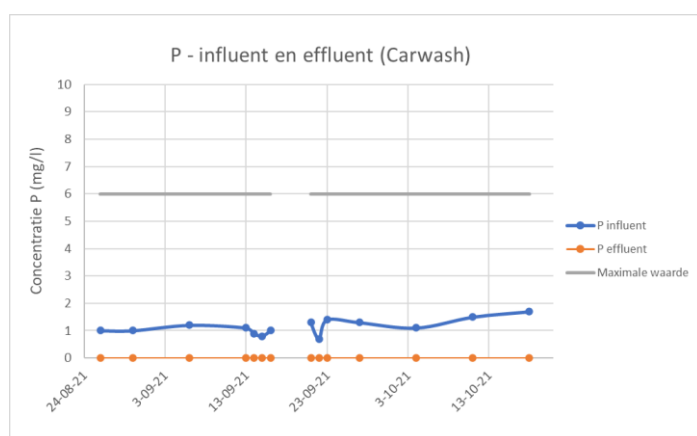
Wat betreft de zuiveringsprestaties van de pilot zijn de resultaten met betrekking tot CZV, N en P weergegeven in Figuur 6-11, Figuur 6-12 en Figuur 6-13. Hieruit kan worden geconcludeerd dat CZV, N en P tot zeer lage concentraties worden verwijderd, in lijn met wat mag worden verwacht van een dergelijke RO-installatie. Wel valt op dat de laatste CZV-meting iets oploopt. De oorzaak hiervan is niet bekend.



Figuur 6-11. CZV-concentraties in influent en effluent – Carwash.



Figuur 6-12. N-concentraties in influent en effluent – Carwash.



Figuur 6-13. P-concentraties in influent en effluent – Carwash.

De gemiddelde verwijderingsrendementen van de overige gemeten parameters zijn weergegeven in Tabel 6-5. Hieruit blijkt dat deze componenten efficiënt worden verwijderd met rendementen fluctuerend tussen 91% en 100%. Een belangrijke parameter voor een RO-installatie is de geleidbaarheid, wat een maat is voor het totale zout- en metalengehalte. Een goed werkende RO-installatie reduceert de geleidbaarheid $< 100 \mu\text{S}/\text{cm}$. Hieraan voldoet de pilot installatie goed ($69 \mu\text{S}/\text{cm}$ gemiddeld).

Tabel 6-5. Gemiddelde verwijderingsrendementen, data Aquafin (2021) – Carwash.

Parameter	Eenheid	Hoeveelheid monsters (n)	Influent gem. (2021)	Effluent gem. (2021)	Verwijdering gem. (%)
BZV	mg O ₂ /l	13	139 +/- 31	5,2 +/- 2	97% +/- 2%
CZV	mg O ₂ /l	15	293 mg +/- 56	5,1 +/- 7	99% +/- 2%
NKj	mg N/l	14	2,4 +/- 0,4	0,0	100%
N-tot	mg N/l	14	2,2 +/- 0,7	0,0	100%
P-tot	mg P/l	14	1,1 +/- 0,3	0,0	100%
Cl	mg/l	14	270 +/- 278	12 +/- 4,2	91% +/- 6%
Cd	mg/l	14	onder detectiegrens	onder detectiegrens	
Cr	mg/l	14	onder detectiegrens	onder detectiegrens	
Cu	mg/l	14	0,1 +/- 0,0	0	100%
Hg	mg/l	14	onder detectiegrens	onder detectiegrens	
Pb	mg/l	14	onder detectiegrens	onder detectiegrens	
Ni	mg/l	14	onder detectiegrens	onder detectiegrens	
Zn	mg/l	14	0,2 +/- 0,1	0	100%
Zwevende stof	mg/l	15	39 +/- 19	0	100%
Geleidbaarheid	µS/cm	15	1540 +/- 1422	69 +/- 20	93% +/- 4%
Anionische deterg	mg/l	15	42 +/- 11	0,0	100%
Kationische deterg	mg/l	15	onder detectiegrens	onder detectiegrens	
Noniogene deterg	mg/l	15	3,5 +/- 1,3	0,0	100%

Ten slotte zijn door Xigna 5 steekmonsters van het permeaat geanalyseerd op microbiologische parameters. Deze zijn weergegeven in Tabel 6-6, en blijken extra aandacht te behoeven. De legionella concentratie voldoet aan de norm, maar het koloniegetal (norm < 100 Kve/ml), de Coliformen (norm = 0), Escherichia Coli (norm = 0) en Clostridium (norm = 0) voldoen niet. Kanttekening hierbij is dat het schepmonsters uit het permeaat vat betreffen. Dit vat is niet volledig steriel en ook de manier van monsternamen (schepmonster) is niet steriel. Hier kan mogelijke besmetting optreden.

Tabel 6-6. Microbiologische parameters permeaat RO, data Xigna (2021, n=5) – Carwash.

Parameter	Eenheid	Maximale waarde (Drinkwaterbesluit)	Concentratie waarde (gem. van 5 steekmonsters)
Legionella	Kve/L	1000	<100
Koloniegetal 22°C	Kve/ml	100	>3000
Coliformen 37°C	Kve/100 ml	0	18
Escherichia Coli 37°C	Kve/100 ml	0	5,5
Clostridium perfringens	Kve/100 ml	0	12,7

Zodoende kan worden geconcludeerd dat de resultaten die worden behaald met de RO-installatie in lijn liggen met de verwachting van een dergelijke installatie. De microbiologische parameters zijn afgezien van legionella echter aan de hoge kant ten opzichte van het Drinkwaterbesluit. Kanttekening hierbij is wel dat het om niet steriele schepmonsters gaat en een vergelijking met het water uit het buffervat van de Carwash dient te worden gemaakt. Dit water kan ook microbieel besmet zijn. Helaas is dit water niet voor aanvang van de pilot bemonsterd en geanalyseerd, dus een goede vergelijking met 'conventioneel' water voor de wasstraat is niet mogelijk. De efficiëntie van de RO-membranen gaat stapsgewijs vooruit, en verbetering van de voorzuivering is de belangrijkste optimalisatiestap. Deze is door afronding van het project niet meer uitgevoerd.

6.8 Onderhoud & kosten

De globale investeringskosten zijn van tevoren ingeschat door BKH-Water. Deze zijn weergegeven in Tabel 6-7. Ook is er een overzicht gemaakt van de ingeschatte jaarkosten van de verbruiksartikelen, zie Tabel 6-8. Let wel, dit is exclusief kosten voor stroom en chemicaliën. Vanwege de korte monitoringsfase was het niet mogelijk om werkelijke kosten, die ook representatief zijn, weer te geven. Het systeem werd immers nog geoptimaliseerd, wat een directe invloed heeft op de jaarlijkse kosten.

Tabel 6-7 Inschatting kostenoverzicht per onderdeel, excl. btw, transport, installeren, aanvullend leidingwerk, inbedrijfstelling en energiekosten voor de Carwash pilot, inschatting gemaakt door BKH Water.

Onderdeel	Aantal	Investering
Proceswaterbuffer	1	2.500,-
RO-installatie	1	21.500,-
Leidingwerk	1	2.000,-
Distributie pompen	2	3.500,-
Meet en regeltechniek	1	3.000,-
Software	1	4.500,-
Container unit (20 ft)	1	2.500,-
Klein materiaal	1	2.500,-
Arbeid (samenbouw container)	1	15.000,-
Totaal		57.000,-

Tabel 6-8 Inschatting jaarkosten verbruiksartikelen Carwash, inschatting gemaakt door BKH Water.

Onderdeel	Standtijd	Aantal per jaar	Kosten	Totaal kosten
Doekenfilter	5 weken	10	250,-	2.500,-
Kaarsfilter (per 2)	1 week	52	70,-	3.640,-
Polishing filter (per 5)	1 week	52	45,-	2.340,-
RO-membraan (per 6)	8 weken	6	1.590,-	9.540,-
Totaal				18.020,-

Uit Tabel 6-7 en Tabel 6-8 blijkt dat de RO-installatie de grootste kostenpost vormt, zowel voor de investering als voor de jaarlijkse onderhoudskosten. BKH-Water is ten tijde van schrijven nog bezig met het optimaliseren van de

zuiveringsstappen voor de RO-installatie. Door bijvoorbeeld coagulanten (vlokmiddelen) of een extra (tweede) polishing stap (bv fijne kaarsenfilter) toe te voegen kan de levensduur van de RO-membranen worden verlengd. Ingeschat is dat de jaarlijkse kosten voor de RO-membranen hierdoor gehalveerd kunnen worden. De totale jaarlijkse kosten voor verbruiksartikelen komen dan uit op €13.250,-.

De zuivering behoeft periodieke inspecties en onderhoud (Tabel 6-9). Een groot deel hiervan kan op afstand gebeuren, omdat de RO-installatie volledig is geautomatiseerd. Wel zijn visuele inspecties van de druk en flow nodig. Dit kan door medewerkers van de Carwash gebeuren.

Tabel 6-9. Kosteninschatting voor benodigde inspectie- en onderhoudswerkzaamheden (uurtarief is €45,-/uur), inschatting gemaakt door BKH Water.

Onderdeel	Interval	Aantal uur per keer	Kosten	Totaal kosten
Wekelijkse inspectie door Carwash medewerkers	1x/week	2	52	4.680,-
Inspectie door leverancier (BKH)	1x/maand		12	6.000,-
Vervanging RO-membranen	3x/jaar		3	6.000,-
Totaal				16.680,-

De jaarlijkse kosten van de zuivering zijn vergeleken met de kosten die de Carwash momenteel maakt voor inname van drinkwater, het zuiveren met een eigen RO-installatie, en de riool- en zuiveringsheffingen. Op basis van een waterverbruik van 4.300 m³ zijn de jaarlijkse kosten voor de Carwash circa €9.200 (€2,15/m³).

De lokale zuivering zal de afvalwaterstroom met circa 80% verlagen. Omdat er deels hemelwater wordt gebruikt, is de besparing op drinkwater iets minder (70%). Als de besparingen op kosten voor drinkwater en lagere riool- en zuiveringsheffingen worden meegenomen, komen de jaarlijkse kosten voor de zuivering uit op €7,52/m³. Dit is 3,5 keer meer dan de huidige prijs die voor het water wordt betaald.

De verhoogde kosten kunnen worden doorbelast aan meerdere klanten. Met een waterverbruik van ~75 liter per wasbeurt kunnen per m³ 13 auto's worden gewassen. De meerkosten voor de klant zijn dan ongeveer €0,50. Bij een gemiddelde besteding van €2,50 per wasbeurt, is dit een prijsstijging van 20%.

Een belangrijke opmerking over bovenstaande kosten is dat de afschrijvingskosten niet zijn meegenomen, voor zowel de huidige kosten van de Carwash, als de jaarlijkse kosten van de pilot. De werkelijke kosten zullen aan beide kanten dus hoger liggen.

6.9 Reflectie en leerpunten

De pilot bij Carwash Gilze was qua opzet redelijk overzichtelijk. Naast de gemeente waren een adviseur, waterschap en de eigenaar van de Carwash betrokken. Er was één afvalwaterstroom, en één leverancier. Dit maakte het proces van technologiekeuze, ontwerp, aanleg en opstart overzichtelijk.

De onbekendheid van afvalwatersamenstelling (die erg vervuild bleek), en de illegale lozingen van andere afvalwaters (bv drugsafval in de open wasstraat), resulteerden wel in een uitdaging. Omdat er op voorhand weinig bekend was over de stoffen die in het afvalwater zouden kunnen zitten, is het ontwerp van de pilot tijdens de

opstart aangepast. Zo moest er met een extra voorzuivering geëxperimenteerd worden om meer fijnstof af te vangen. Dit heeft kostenverhogend, en vertragend gewerkt. Uiteindelijk draaide de technologie naar behoren, maar was er geen tijd en budget meer voor een verdere doorontwikkeling en verbetering. Deze verbetering, met focus op de voorzuivering, zou de operationele kosten ten goede kunnen komen.

Een tweede grote uitdaging bleek de wisseling van personeel en wethouder bij Gemeente Gilze-Rijen. Hierdoor verschoof de prioriteit naar andere activiteiten, en is de aandacht voor de pilot bij de Carwash verminderd. Dit heeft geresulteerd in minder draagvlak voor toepassing van deze technologie in het buitengebied. Ook zijn de noodzakelijk te volgen administratieve procedures niet goed gevolgd, waardoor het verkrijgen van subsidie voor deze pilot ten tijde van schrijven onzeker is. Dit vermindert het draagvlak voor inzet van dit type technologie in het buitengebied van Gemeente Gilze-Rijen. Hierbij wordt ook afgevraagd of het wenselijk is dat de gemeente dergelijke, grote, lozers in het buitengebied faciliteert.

De operationele kosten zijn, door de benodigde aanpassingen aan de voorzuivering en vorstschade door een ontwerpfout, niet representatief. Verder optimalisatie van de voorzuivering kan deze kosten met circa 25% verlagen. Echter zijn deze kosten dan nog steeds 3.5 keer hoger dan de huidige kosten voor waterverbruik, zuivering en lozing. Op basis van de kosten is verdere inzet van de installatie, op deze locatie, niet rendabel geacht.

Het gezuiverde water voldoet (ruimschoots) aan alle normen voor lokale lozing. De microbiologische parameters zijn afgezien van legionella echter aan de hoge kant ten opzichte van het Drinkwaterbesluit. Kanttekening hierbij is wel dat het om niet steriele schepmonsters gaat, en er mogelijk besmetting tijdens bemonstering is opgetreden. Ook wordt opgemerkt dat er geen normen zijn voor watergebruik in de Carwash, maar dat omwille van de volksgezondheid is uitgegaan van drinkwaterkwaliteit. Het is momenteel niet bekend wat de kwaliteit is van het water dat de Carwash nu gebruikt. Het drinkwater wordt namelijk in een buffervat opgeslagen, waar ook contaminatie plaats vindt. Voor een eerlijke vergelijking zou de kwaliteit van dit water moeten worden vergeleken met de kwaliteit van het gezuiverde water. Helaas is het water in het buffervat niet voor aanvang van de pilot bemonsterd en geanalyseerd, en dus een goede vergelijking met 'conventioneel' water voor de wasstraat is niet mogelijk.

6.10 Conclusies en vervolg

De algemene doelstelling van deze pilot was om nieuwe afvalwaterzuiveringstechnologieën voor het afvalwater van de autowasstraat in Gilze (Carwash Gilze) te testen. De pilot is opgezet om het afvalwater lokaal te zuiveren en op te werken naar een kwaliteit waarbij het weer ingezet kan worden als waswater. Zo wordt niet alleen een lozing op het persriool sterk verminderd, maar wordt de drinkwatervraag van de Carwash ook verlaagd.

De pilot heeft aangetoond dat het technologisch mogelijk is om het afvalwater van een Carwash dusdanig te zuiveren dat dit lokaal geloosd kan worden. Ook kan het water worden opgewerkt naar een kwaliteit waarbij het weer ingezet kan worden als waswater. Kanttekening hierbij is wel dat de microbiële kwaliteit nog aandacht behoeft.

Het was relatief eenvoudig om de Carwash pilot op te zetten, omdat er een beperkt aantal stakeholders bij betrokken was. Echter bleek de opstart complex vanwege onbekendheid met het sterk vervuilde afvalwater. De operationele kosten vielen (veel) hoger uit, en de opstarttijd duurde langer, dan geanticipeerd.

Hergebruik van het water is economisch gezien niet interessant gebleken voor zowel de gemeente als de eigenaar van de Carwash. De zuiveringskosten van het water voor de eigenaar van de Carwash te hoog. Daarnaast is de druk op de capaciteit van het persriool door het afvalwater van de Carwash, en de verlichting door het afkoppelen hiervan, niet voldoende voor de gemeente om de extra benodigde financiering voor voortzetting van de pilot te dekken. Gebrek aan draagvlak voor de oplossing, en verschuiving van prioriteiten, spelen hierbij een belangrijke rol.

6.10.1 Toekomst

De pilot zal geen doorgang vinden. De redenen hiervoor zijn de hogere kosten voor het water (€7,50/m³ t.o.v. €2.50eur/m³). Vanuit de eigenaar van de Carwash is aangegeven dat een verhoging van de kosten om een auto te wassen niet wenselijk is. Deze kosten zouden daarom bij de gemeente of de eigenaar van de Carwash komen te liggen. De gemeente kan de extra kosten alleen deels gedekt krijgen door het water te verkopen als osmosewater aan glazenwassers. Daarnaast is de Carwash onbewaakt, waardoor er geregeld afvalstoffen zoals vloeibaar vet, olie en drugsafval wordt geloosd. Deze zijn zeer schadelijk voor de installatie en de extra kosten in het onderhoud hiervoor komen boven op de bestaande hoge kosten.

Tevens is de locatie, die de container momenteel inneemt, opgenomen in een plan om elektrisch laden op deze locatie mogelijk te maken. De eigenaar van de Carwash wil deze locatie namelijk gebruiken als doorgang naar een nog te ontwikkelen FastNed locatie.

Vanwege de hoge kosten, het risico op extra kosten en de ontwikkelingen bij het tankstation kan de installatie niet bij de Carwash blijven staan. Er wordt door gemeente Gilze-Rijen onderzocht of er in de markt interesse is om de installatie op een andere locatie in te zetten. Indien dit niet het geval blijkt zal de installatie worden opgeslagen op de gemeentewerf of een andere locatie.

7 Pukkemuk (Dongen)

7.1 Toelichting pilot

Pukkemuk is in 2019 partner geworden van het I-QUA project. Wegens het wegvallen van een andere pilotlocatie ontstond er ruimte en noodzaak voor een nieuwe pilot. Tegelijkertijd was Pukkemuk bezig met uitbreidingsplannen van de verblijfsaccommodaties, waardoor de afvalwaterstroom zou gaan toenemen.

De verblijfsaccommodatie zou worden gerealiseerd op een plek waar nog geen aansluiting was op het riool. Gemeente Dongen en Pukkemuk zouden een nieuwe aansluiting van circa 2km moeten aanleggen. Het lokale persrioolstelsel zou deze afvalwaterstroom echter niet kunnen transporteren omdat de capaciteit hiervan al volledig benut was. Een derde aspect was dat de verblijfsaccommodaties op een perceel werden gerealiseerd die ook ingericht kon worden als Ecologische verbindingszone (EVZ), om de Ecologische Hoofdstructuur in Noord-Brabant te verbinden. Als laatste wilde Pukkemuk de verblijfsaccommodaties duurzaam ontwikkelen, en het gezuiverde water gebruiken voor toiletspoeling (drinkwaterbesparing), en bevoeiing van de groene daken en omliggend groen. Zo ontstond de kans om het afvalwater lokaal te behandelen, en in te zetten als secundaire waterbron en natuurontwikkeling.

De doelstellingen van de pilot waren om het afvalwater van de vakantieverblijven lokaal, met een natuurlijk zuiveringssysteem, te zuiveren, en het effluent in te zetten als spoelwater van de toiletten en voor natuurcreatie. Hiermee is uitbreiding van het lokale rioolstelsel niet nodig, en worden ervaringen opgedaan met lokale afvalwaterverwerking gefocust op waterhergebruik. Dit biedt input voor toekomstige keuzes voor omgang met huishoudelijk afvalwater afkomstig van recreatieterreinen in het buitengebied.

Ontwikkeling en bouw: medio 2019 tot medio 2021

Monitoringsperiode: Niet uitgevoerd

Huidige status (maart 2022): Het zuiveringssysteem is aangelegd, en de verblijfsaccommodaties zijn in aanbouw. De vergunningen voor lozing worden geregeld. Het systeem zal de komende 2 jaar worden opgestart en gemonitord.

Toegepaste technieken:

- Helofytenfilter/wilgenfilter
- Nanofilter
- UV-installatie

7.2 Situering

Recreatieboerderij Pukkemuk ligt in het buitengebied van de Gemeente Dongen, aan de Vaartweg. Pukkemuk wil het park uitbreiden met 60 verblijfsaccommodaties op een perceel aan de zuidwestzijde van de Fazantenweg, net ten noorden van de knik hierin. De plannen hiervoor zijn in 2019 gemaakt, maar vanwege de COVID-19 pandemie is er een forse vertraging opgetreden in de realisatie hiervan. Het park zou oorspronkelijk in 2022 in gebruik genomen gaan worden. Dit is nu uitgesteld naar 2023/2024.



Figuur 7-1. Plattegrond van Pukkemuk, met plan voor uitbreiding met verblijfsaccomodaties (linksonder). De Fazantenweg loopt midden door het plangebied. De waterzuivering is aan de zuidkant, bij de parkeerplaatsen, gerealiseerd (Bron: Pukkemuk).

De verblijfsaccomodaties zullen een duurzaam karakter krijgen. Dit wordt vormgegeven door een hoge isolatiewaarde, groene uitstraling (groendak, EVZ), en water hergebruik voor toiletspoeling. Pukkemuk wil de maatregelen, en noodzaak daarvan, specifiek bij de kinderen onder de aandacht brengen.

7.3 Wettelijke kaders

Het doel van de pilot bij Pukkemuk was om het afvalwater te zuiveren tot een niveau waarbij het als spoelwater voor toiletten ingezet kan worden, of dat in de omgeving geloosd kan worden.

7.3.1 Effluent voor hergebruik

Water dat als spoelwater voor toiletten wordt gebruikt, wordt wettelijk aangeduid als huishoudwater.

Huishoudwater wordt in het [Drinkwaterbesluit, art. 2 t/m 5](#), en de [Drinkwaterwet, art. 1, 21 lid 1](#), en [art. 31](#) behandeld. Deze zijn verder uitgewerkt in de [Drinkwaterregeling, art. 3](#).

[Art. 5 lid 1 Dwb](#), stelt dat (op het vaste land) alleen hemelwater en/of grondwater als bron mag dienen voor huishoudwater. Wel is op basis van het vierde lid ontheffing hiervan mogelijk als dit wordt toegestaan door de toezichthouder (dat is, Inspectie Leefomgeving en Transport [ILT], onderdeel van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat).

De wet en onderliggend Besluit en Regelingen geven geen kwaliteitseisen waaraan het huishoudwater zelf moet voldoen. Er wordt enkel aangegeven dat dit geen gevaar voor de volksgezondheid mag zijn ([art. 21 Dww](#), via [art. 2 lid 1 Dwb](#)). Het is aan het ILT om te bepalen dat het gezuiverde afvalwater hieraan voldoet ([Art. 5 lid 4 Dwb](#)). Wel worden eisen gesteld aan de voorzieningen voor productie en levering van het huishoudwater ([Art. 3](#) van de Regeling).

De Drinkwaterregeling verwijst voor de kwaliteit van de huishoudwaterinstallatie naar NEN-norm NEN 1006:2002/A3:2011. Deze NEN-norm is later geüpdatet naar NEN 1006:2015, en beschrijft de eisen waaraan het leidingnet, de wateropslag, communicatie, suppletie en het beheer van de huishoudwaterinstallatie moet voldoen.

Zover bekend ten tijde van schrijven is er nog geen contact geweest met het ILT over de benodigde kwaliteit van het huishoudwater. Hier is ook nog geen (formele) vrijstelling voor geregeld.

7.3.2 Grenswaarden voor lozing

Het effluent dat niet als toiletspoelwater wordt gebruikt, zal worden geloosd in de omgeving. Het overtollige effluent zal op een waterbassin, die naast het wilgenfilter is aangelegd, geloosd worden. Deze waterbassin is niet aangesloten op ander oppervlaktewater in de omgeving.

De gemeente is het bevoegd gezag voor lozing op de bodem. Het waterbassin op het vakantiepark zal zeer waarschijnlijk aangemerkt worden als niet-aangewezen oppervlaktewater als hier planten in gaan groeien die bij een waterlichaam horen⁵. In dat geval zal het waterschap bevoegd gezag zijn als er op het waterbassin wordt geloosd. Op moment van schrijven was niet bekend of, en hoe, de twee overheden hierover afgestemd hebben.

Lozingen op bodem en oppervlaktewater zijn geregeld in de Waterwet, de Wet milieubeheer en de drie AMvB's ('Besluit lozen afvalwater huishoudens', 'Activiteitenbesluit' en 'Besluit lozingen buiten inrichtingen'). Tabel 7-1 geeft de grenswaarden weer voor lozen in een oppervlaktewaterlichaam en op of in de bodem, op basis van [artikel 3.5](#) 'Activiteitenbesluit milieubeheer' en [artikel 3.6](#) van het 'Besluit lozingen buiten inrichtingen'.

Bij het lozen op oppervlaktewater is het van belang of het ontvangende oppervlaktewaterlichaam wordt aangemerkt als kwetsbaar of niet. Een aangewezen oppervlaktewaterlichaam is een oppervlaktewater dat met het oog op lozen geen bijzondere bescherming behoeft ([artikel 1.7](#), eerste lid, onderdeel b, van het 'Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer'). Met andere woorden, een aangewezen oppervlaktewaterlichaam heeft minder strenge grenswaarden dan een niet aangewezen oppervlaktewaterlichaam. Dit impliceert ook dat een oppervlaktewater standaard als een niet aangewezen oppervlaktewaterlichaam wordt gekenmerkt, tenzij expliciet wordt aangegeven dat het milieu geen schade van de lozing met minder strenge grenswaarden zal ondervinden.

Wel kan het bevoegde gezag (in dit geval het gemeente en/of waterschap) op basis van het zevende en achtste lid van [artikel 3.6](#) 'Besluit lozen buiten inrichtingen' en het vierde lid van [artikel 3.5](#) 'Activiteitenbesluit milieubeheer' afwijken van de waarden in Tabel 7-1 door middel van een maatwerkvoorschrift.

Pukkemuk verwacht dat er niet veel gezuiverd afvalwater over zal blijven, omdat een deel wordt verdampt in het wilgenfilter en de rest wordt gebruikt voor toiletspoeling. Dit is echter niet onderbouwd met berekeningen of inschattingen. Vooral nog wordt ervan uitgegaan dat er effluent in de omgeving geloosd zal gaan worden.

⁵ In de [Ww, artikel 1](#) wordt een oppervlaktewaterlichaam gedefinieerd als een "samenhangend geheel van vrij aan het aardoppervlak voorkomend water, met de daarin aanwezige stoffen, alsmede de bijbehorende bodem, oevers en, voor zover uitdrukkelijk aangewezen krachtens deze wet, drogere oevergebieden, alsmede flora en fauna". Met andere woorden, als de vijver permanent water bevat met daarbij horend normaal ecosysteem kan het als zelfstandig oppervlaktewaterlichaam aangemerkt worden. Ook een verbinding met een andere watergang zal betekenen dat de bezinkvijver wordt aangemerkt als oppervlaktewaterlichaam. Zie ook de [vraag en antwoord webpagina](#) van Helpdesk water hierover, met verwijzingen naar uitspraken van de Hoge Raad en Raad van State.

Tabel 7-1. Grenswaarden voor lozen in een oppervlaktewaterlichaam, in mg/l op basis van het Activiteitenbesluit en Blbi.

Parameter	Lozen in een aangewezen* oppervlaktewaterlichaam, of bodem		Lozen in een niet aangewezen oppervlaktewaterlichaam	
	Representatief etmaalmonster	Steekmonster	Representatief etmaalmonster	Steekmonster
BZV (mg/l)	30	60	20	40
CZV (mg/l)	150	300	100	200
Onopgeloste stoffen (mg/l)	30	60	30	60
Totaal stikstof (mg N/l)	-	-	30	60
Ammoniumstikstof (mg N/l)	-	-	2	4
Fosfor totaal (mg P/l)	-	-	3	6

* Een aangewezen oppervlaktewaterlichaam is een oppervlaktewater dat met het oog op lozen geen bijzondere bescherming behoeft. Zie [artikel 1.7](#), eerste lid, onderdeel b, van het Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer.

Het gezuiverde afvalwater van de verblijfsaccommodaties van Pukkemuk zal dus, naast de kwaliteitseisen voor huishoudwater, ook minimaal moeten voldoen aan grenswaarden om in de omgeving te mogen lozen, het zij op of in de bodem, of op een oppervlaktewater. Ten tijde van schrijven was er nog geen maatwerkvoorschrift verleend, en dus ook niet duidelijk wat de grenswaarden voor lozing zouden zijn.

7.4 Technologiekeuze

7.4.1 Oplossingsrichtingen

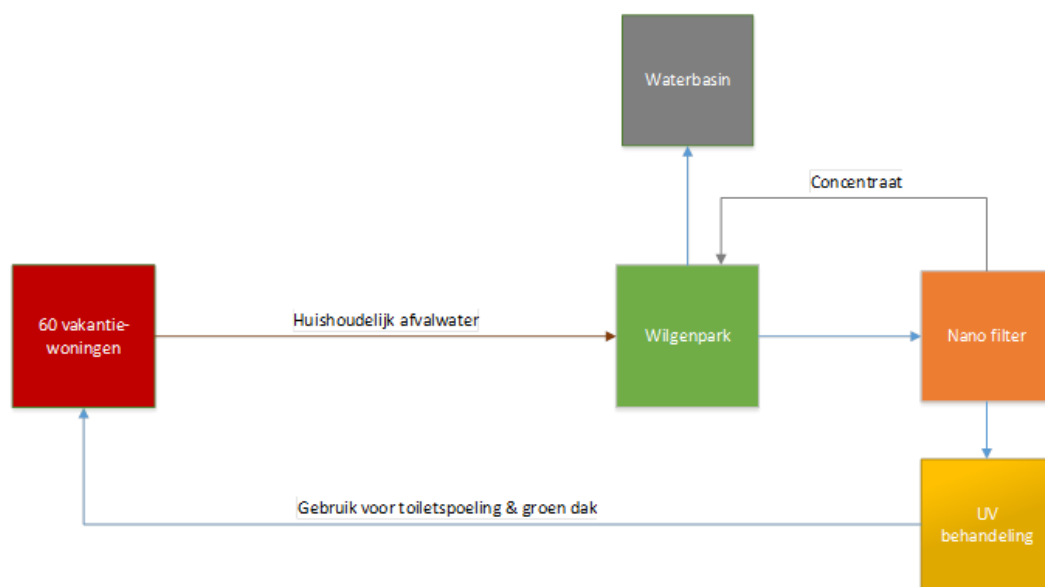
Pukkemuk is in een later stadium partner geworden van het I-QUA project. De technologiekeuze voor HVCH (Hoofdstuk 5) en de Carwash (Hoofdstuk 6) was toen al uitgevoerd. LeAF is toen benaderd om de mogelijkheden voor zuivering van afvalwater met natuurlijke systemen uit te werken, met bijbehorende globale kostenraming. Deze notitie beschrijft een helofytenfilter, wilgenfilter en wilgenveld.

Pukkemuk heeft vervolgens met deze notitie een aantal gesprekken gevoerd met verschillende leveranciers van natuurlijke zuiveringssystemen en chemisch-fysische nabehandelingssystemen. Op basis van deze gesprekken, opgedane kennis en verkregen en gevonden informatie is besloten om zelf een afvalwatersysteem te ontwerpen en aan te leggen.

7.4.2 Definitieve technologie keuze en onderbouwing

De eigenaar van Pukkemuk heeft de uiteindelijke technologiekeuze gemaakt, en dit samen met medewerkers ontworpen.

Figuur 7-2 toont een schematisch overzicht van het definitieve ontwerp.



Figuur 7-2. Stroomschema met definitieve technologieën voor de I-QUA pilot Pukkemuk. (Bron: Huub van Leijsen 21-02-22).

Onderbouwing keuze wilgenfilter

De opbouw van het filter is gebaseerd op verschillende systemen en beoogt zo een goede verwijdering van verschillende stoffen. Wilgen zijn vanwege hun verdampende eigenschap geselecteerd om de effluentstroom zo veel mogelijk te verkleinen.

Onderbouwing keuze nanofilter

Het effluent van de wilgenfilter zal met een nanofilter worden nagezuiverd om een deel van zouten te verwijderen.

Onderbouwing keuze UV-installatie

Het huishoudwater zal voor distributie en gebruik worden gezuiverd met een UV-installatie om pathogenen te doden.

7.5 Pilot opzet

7.5.1 Algemene uitgangspunten

Het is de verwachting dat er bij een gemiddelde bezetting 25-30m³/dag aan afvalwater wordt geproduceerd. De grootte van het wilgenveld is op basis van dit volume, en een verblijftijd van circa 7 dagen, bepaald.

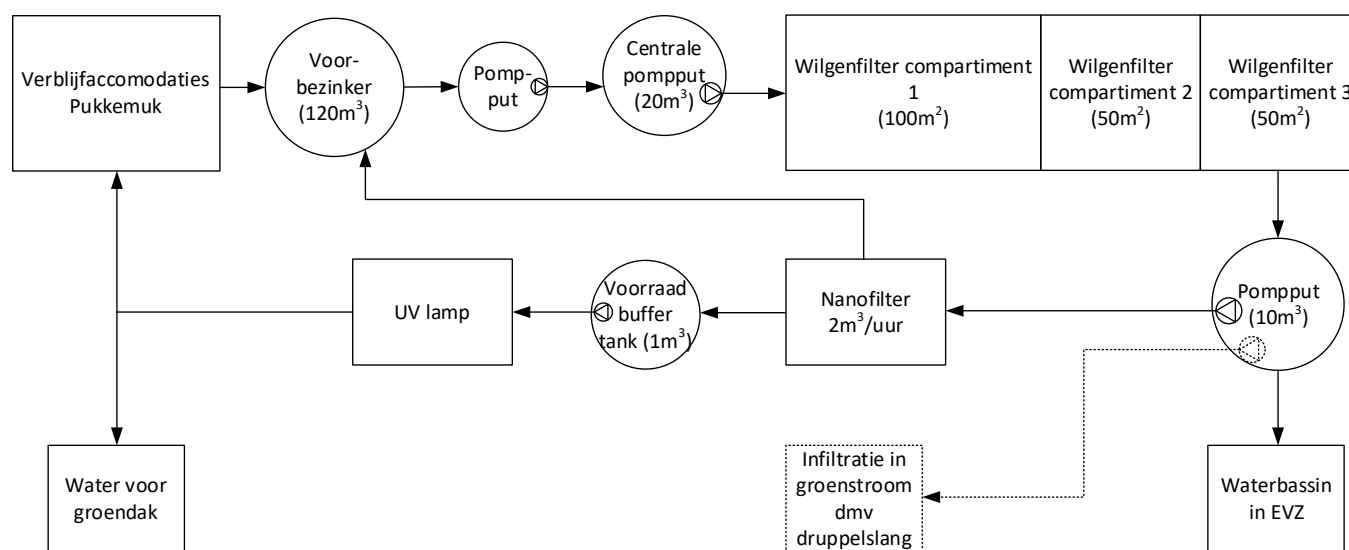
7.5.2 Algemene procesbeschrijving

Het afvalwaterzuiveringssysteem bij Pukkemuk bestaat uit een wilgenfilter met achtereenvolgens nanofilter en UV-installatie (Figuur 7-3).

Het afvalwater van de verblijfsaccomodaties zal met een vrijvervalriool naar 6 voorbezinkers van ieder 20m^3 worden getransporteerd. Vervolgens zal het afvalwater onder vrijverval naar een pompput stromen, waar vanuit waar het afvalwater naar een centrale pompput (20m^3) zal worden verpompt. Het afvalwater zal vervolgens vanuit de centrale pompput op het wilgenfilter gepompt worden. Hier loopt het onder vrijverval doorheen, waarna het in een effluentpompput (10m^3) zal verzamelen. Het effluent wordt vanuit deze pompput, door een nanofilter, naar een voorraadbuffertank (1m^3) gepompt worden. De concentraatstroom van de nanofilter wordt geloosd op de voorbezinker van het wilgenveld. Inzet van het nanofilter wordt aangestuurd op basis van de behoefte aan toiletspoelwater, en de waterhoeveelheid in de voorraadbuffertank. Het water dat ingezet wordt als toiletspoelwater zal voor gebruik met een UV-installatie gezuiverd worden, waarna het naar de toiletten in de vakantiewoningen gepompt. Elk huisje wordt tevens aangelegd met een groendak (sedum) en irrigatiesysteem (druppelslang) om dit tijdens hete en droge zomers te bevoeien. Hiervoor zal het huishoudwater worden ingezet. Dit zal centraal, met een op afstand bestuurbare driewegklep kunnen worden geregeld.

Als er geen huishoudwater nodig is, zal de pompput na het wilgenfilter overlopen naar een waterbassin. Dit waterbassin ligt in de EVZ.

Er is drainageslang aangelegd in de groenzone, maar deze is nog niet aangesloten. Voor de drainageslang is een extra pomp benodigd in de pompput achter het wilgenfilter. Dit is nog niet aangelegd, en wordt pas gedaan als blijkt dat er (te veel) water naar het waterbassin zal lopen.



Figuur 7-3. Schematische weergave van pilot bij Pukkemuk.

7.5.3 Wilgenfilter

Het wilgenfilter heeft een afmeting van $20 \times 10 \times 1,25\text{m}$ (lxbxh). Het totaal oppervlak is 200m^2 , en totaal volume 250m^3 . Dit is verdeeld over drie compartimenten, die in serie zijn geschakeld. Het hoogteverschil in elk compartiment is 10cm zodat het afvalwater er onder vrijverval doorheen stroomt.

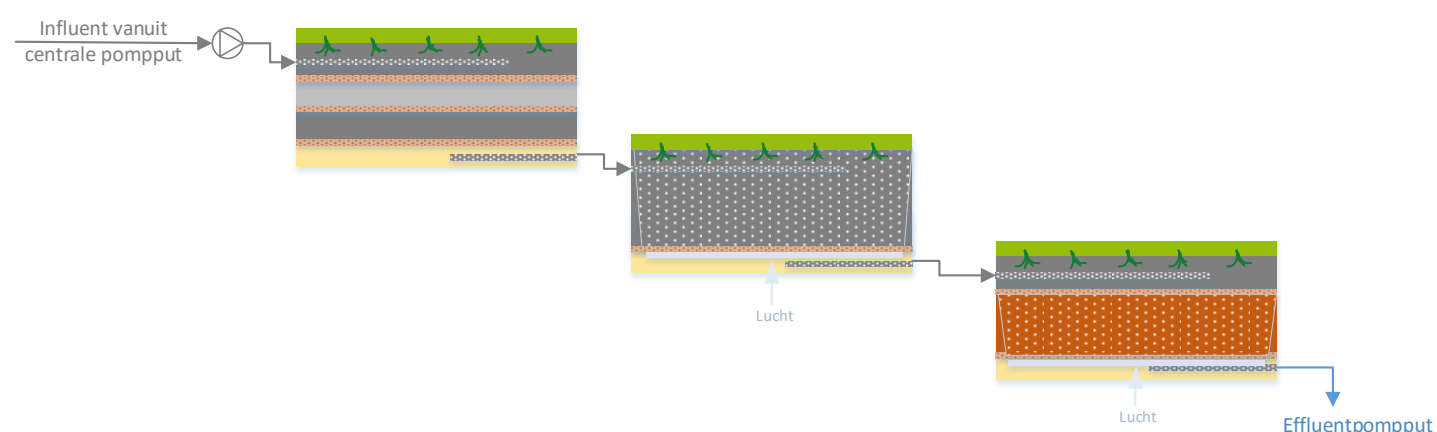
Het filtermateriaal is opgebouwd uit verschillende lagen. Dit verschilt per compartiment. Het eerste compartiment (100m^2) is, vanaf de onderkant gezien, opgebouwd uit een $0,25\text{m}$ laag met scherp zand, een $0,3\text{m}$ laag geëxpandeerde kleikorrels, $0,3\text{m}$ gebroken schelpen, en vervolgens een toplaag van $0,4\text{m}$ geëxpandeerde

kleikorrels. Een geotextiel (worteldoek) is tussen elke laag geplaatst om vermenging van de verschillende materialen te voorkomen. Behalve de gebroken schelpen is er geen ander fosfaat-bindend materiaal toegevoegd. Onder in de laag met scherpzand ligt een drainagebuis om het effluent van het compartiment te verzamelen. In deze laag ligt ook een netwerk met beluchtingsslagen. Het afvalwater wordt vanuit de centrale pompput naar dit compartiment gepompt ($1,5\text{m}^3/\text{uur}$), en in de bovenste laag geëxpandeerde kleikorrels middels een PVC buis over het compartiment verdeeld. De wilgentenen zijn in de bovenste laag geëxpandeerde kleikorrels geplant.

Het tweede compartiment (50m^2) bestaat vanuit de onderkant gezien uit een $0,25\text{m}$ laag met scherp zand, en vervolgens $0,95\text{m}$ laag geëxpandeerde kleikorrels. Een geotextiel (worteldoek) is tussen deze twee lagen aangebracht om vermenging te voorkomen. Dit compartiment bevat alleen scherp zand en geëxpandeerde kleikorrels. Onder in de laag met scherpzand ligt een drainagebuis om het effluent van het compartiment te verzamelen. In deze laag ligt ook een netwerk met beluchtingsslagen. Het afvalwater stroomt onder vrijverval vanuit het voorliggende compartiment naar dit compartiment, en in de bovenste laag geëxpandeerde kleikorrels middels een pvc-buis over het compartiment verdeeld. De wilgentenen zijn in de bovenste laag geëxpandeerde kleikorrels geplant.

Het derde en laatste compartiment (50m^2) bestaat vanuit de onderkant gezien uit een $0,2\text{m}$ laag met scherp zand, $0,6\text{m}$ laag houtsnippers, en toplaag van $0,4\text{m}$ geëxpandeerde kleikorrels. Een geotextiel (worteldoek) is tussen elke laag geplaatst om vermenging van de verschillende materialen te voorkomen. Onder in de laag met scherpzand ligt een drainagebuis om het effluent van het compartiment te verzamelen. In deze laag ligt ook een netwerk met beluchtingsslagen. Het afvalwater stroomt onder vrijverval vanuit het voorliggende compartiment naar dit compartiment, en in de bovenste laag geëxpandeerde kleikorrels middels een PVC buis over het compartiment verdeeld. De wilgentenen zijn in de bovenste laag geëxpandeerde kleikorrels geplant.

Het effluent van het derde compartiment stroomt onder vrijverval naar de achterliggende effluentpompput. Het wilgenfilter is weergegeven in Figuur 7-4.



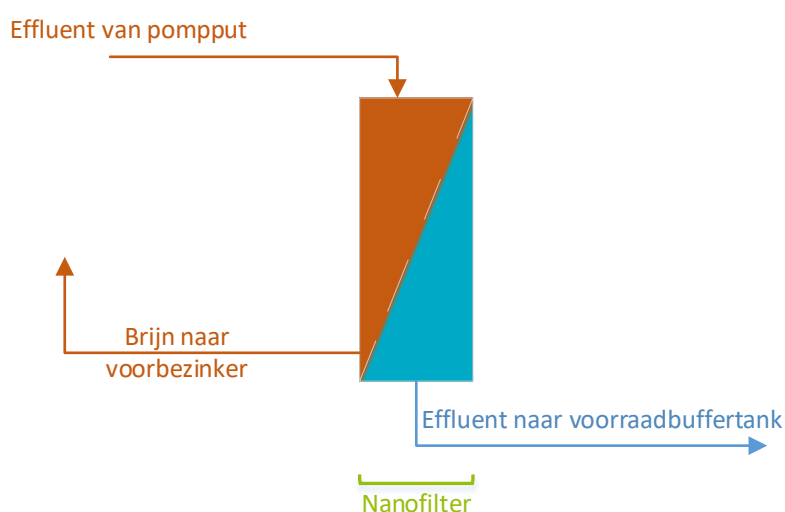
Figuur 7-4. Schematische weergave van het wilgenfilter, met opbouw. Van onderaf en van links naar rechts zijn de lagen; scherp zand (licht geel), worteldoek (licht oranje met grijze stipjes), geëxpandeerde kleikorrels (donkergrijs), schelpen (licht grijs), houtsnippers (donkeroranje) en wilgen (groen).

7.5.4 Nanofilter

Het nanofilter bestaat uit een skid met 4 PAP LP1000 membranen. Deze zijn door Pathema geleverd, en kunnen maximaal 2m³ per uur verwerken. Het zal ongeveer 1m³/uur permeaat produceren, bij een waterdruk van 2,5 bar. Een schematische weergave van een nanofilter is weergegeven in Figuur 7-5.

Informatie over backwash en chemische reinigingscycli (CIP) was ten tijde van schrijven niet bekend. Het systeem was toen wel aangelegd, maar niet operationeel.

De concentraatstroom (brijn) wordt op de voorbezinker van het wilgenveld geloosd.



Figuur 7-5. Schematische weergave van een Nanofilter.

7.5.5 UV-filter

Voordat het huishoudwater bij de verblijfsaccomodaties wordt aangeleverd zal dit eerst worden nagezuiverd met een UV-installatie. Hiermee worden pathogenen gedood. Een schematische weergave van een UV-filter is weergegeven in Figuur 7-6.



Figuur 7-6. Schematische weergave van een UV-filter.

7.5.6 Infiltratievoorziening

De infiltratievoorziening voor het niet-gebruikte effluent (huishoudwater), bestaat uit een 22mm druppelslang met totale lengte van 100m. Deze ligt in de groenstrook aan de rand van het park. De k-waarde van het gebied is

minimaal 1m/dag. Dit kan ter plekke hoger zijn, en is voldoende om water weg te laten lopen in de bodem. Dimensioneringsgrondslagen voor de lengte en diameter van de drainagebuis zijn niet bekend.

7.6 Monitoringsprogramma

Het was voor de pilot bij Pukkemuk niet mogelijk om een monitoringsprogramma uit te voeren. Het wilgenfilter en nanofiltratie zijn eind 2021 opgeleverd. Echter waren er toen nog geen verblijfsaccomodaties gerealiseerd. De systemen waren dus niet in gebruik, en konden ook niet gemonitord worden.

7.7 Evaluatie en resultaten

Er zijn voor de pilot bij Pukkemuk geen resultaten van analyses aan het (gezuiverde) afvalwater te bespreken.

7.8 Onderhoud & kosten

De pilot bij Pukkemuk is nog niet opgestart, waardoor er geen informatie bekend is over benodigd onderhoud en de kosten daarvan. De totale aanleg inclusief voorbereidingskosten voor de gebouwde installatie bij Pukkemuk zijn €131.285.

7.9 Reflectie en leerpunten

De oorsprong van de pilot bij Pukkemuk is anders dan de overige I-QUA pilots. Pukkemuk is later bij het project gekomen, en het was de eigenaar van Pukkemuk die zelf de technologie selectie, het ontwerp, en de aanleg heeft uitgevoerd.

Gedurende het proces heeft hij informatie opgehaald van adviseurs en leveranciers die bij andere I-QUA pilots betrokken waren, evenals verschillende marktpartijen. Op basis van deze informatie heeft Pukkemuk het systeem vervolgens zelf ontworpen en aangelegd.

De gedrevenheid van de ondernemer was hierin doorslaggevend. De eigenaar van Pukkemuk heeft veel tijd en energie gestoken in het uitdenken van de pilot, evenals het verhaal daaromheen. Inpassing in de beleving van het recreatiepark door kinderen, duurzaamheid, afvalwaterproblematiek in het buitengebied, en biodiversiteit maakten dat het verhaal van de afvalwaterpilot bij Pukkemuk bij veel mensen aansloeg. Zo is er draagvlak en ruimte voor de pilot, en soms onorthodoxe werkwijze van Pukkemuk, ontstaan.

Dit is echter niet bij iedereen het geval. Het wilgenveld is niet met bewezen materialen aangelegd, en de dimensioneringsgrondslagen zijn niet bekend. Onder andere dichtslibben van het geotextiel, en daarbij overstrooming van het wilgenveld, is een genoemde zorg. Ook het herintroduceren van het NF-concentraat in de behandelingstrein houdt risico's in, evenals het ontbreken van een lozingspunt op riolering voor het geval dat er een storing op treedt of het systeem zou falen tijdens de proeffase. Aquafin heeft aangegeven dit zuiveringsconcept niet te onderschrijven zonder bewijs van de goede werking op lange termijn. Een nauwer overleg met het consortium, om de ervaring van de (kennis)partners optimaal te benutten, was vanuit hen wenselijk geweest.

De rol van Gemeente Dongen en Waterschap Brabantse Delta was gedurende het proces niet altijd even helder, mede omdat het lozingspunt niet duidelijk was gedefinieerd. In samenspraak met de gemeente is met aanleg van de zuiveringsinstallatie begonnen. Er was toen nog geen lozingsvergunning, of melding, verleend, omdat nog niet bekend was of, en waar, geloosd zou gaan worden. Ook de ontheffing voor hergebruik van gezuiverd afvalwater voor toiletspoeling lijkt nog niet volledig rond te zijn.

De bouw van de verblijfsaccomodaties liep door de Covid-19 maatregelen, en vertraging in subsidie- en vergunningentrajecten vertraging op. Het was dus niet mogelijk om de pilot op te starten en te monitoren. Het is niet bekend of de zelfontworpen en aangelegde technologie ook zal gaan voldoen aan de wettelijke normen.

7.10 Conclusies en vervolg

De doelstellingen van de pilot waren om het afvalwater van de vakantieverblijven lokaal, met een natuurlijk zuiveringssysteem, te zuiveren, en het effluent in te zetten als spoelwater van de toiletten en voor natuurcreatie. Hiermee worden ervaringen opgedaan met lokale afvalwaterverwerking gefocust op waterhergebruik, waarop toekomstige keuzes voor omgang met huishoudelijk afvalwater afkomstig van recreatieterreinen in het buitengebied kunnen worden gebaseerd.

De technologie is aangelegd, maar deze is nog niet opgestart en gemonitord. Het is dus niet mogelijk om te bepalen of de doelstellingen voor deze pilot zijn behaald.

Niet alle I-QUA partners konden zich vinden in de manier waarop deze pilot, of eigenlijk fullscale installatie, tot stand is gekomen.

7.10.1 Toekomst

De verblijfsaccomodaties zijn momenteel in aanbouw, en zullen in 2023/2024 in gebruik genomen gaan worden. De pilot zal dan ook opgestart gaan worden. Het is voorzien dat, bij goed functioneren, de pilot permanent bij Pukkemuk zal blijven.

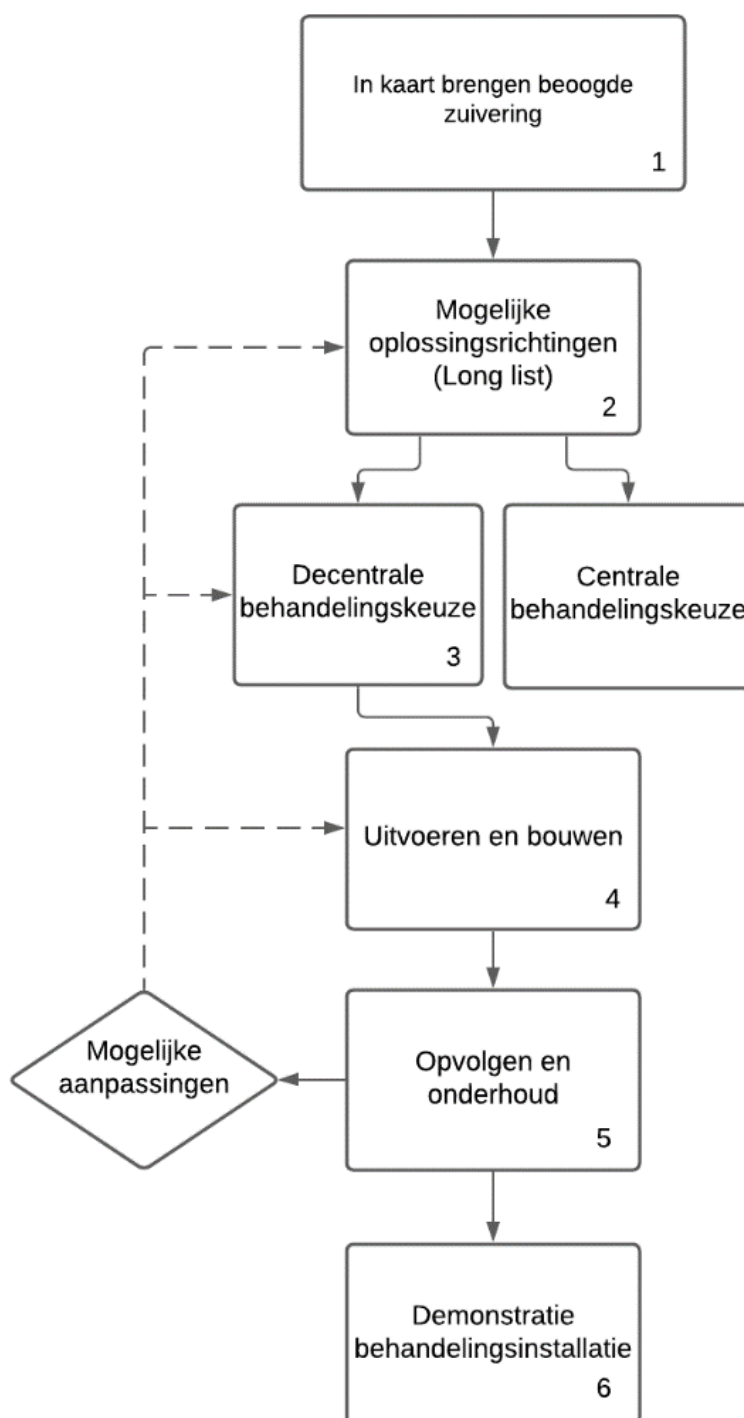
Het monitoringsplan is nog niet gemaakt. Ook zijn nog niet alle lozingsvergunningen en ontheffingen voor toepassing van effluent als huishoudwater geregeld. Gemeente Dongen was op moment van schrijven bezig met het regelen van de benodigde vergunning of ontheffing.

8 Technisch afwegingskader

8.1 Doelstelling technisch afwegingskader

Decentrale locaties en activiteiten zijn onderling sterk verschillend, waardoor er niet altijd kant-en-klare commerciële oplossingen beschikbaar zijn voor omgang met afvalwater in het buitengebied. Op basis van de resultaten en de ervaring binnen het I-QUA project werd verder dit afwegingskader opgesteld. Het afwegingskader heeft als doel een wetenschappelijk onderbouwde ondersteuning te bieden voor beslissingsnemers, waarbij de denkmethode naar oplossingsmogelijkheden en aanpak van waterzuiveringsproblemen bondig wordt besproken. Aan de hand van het stappenplan binnen het afwegingskader (Figuur 8-1), kan uiteindelijk tot succesvolle cases worden gekomen.

Dit afwegingskader is een neerslag van het literatuuronderzoek, partnerinbreng en opgedane praktijkervaring binnen het project I-QUA. Het focust dan ook voornamelijk op de aspecten die binnen I-QUA werden behandeld: technische mogelijkheden, kosten, effluentkwaliteit en mogelijkheden voor hergebruik. Op aspecten die buiten de scope van I-QUA lagen, werd in dit afwegingskader niet verder ingegaan. Zo hebben zuiveringsconcepten in buitengebied steeds ook een bredere milieu-impact op globaal (vb. LCA) en lokaal niveau (vb. Kaderrichtlijn Water), impact op de lokale en regionale waterbalans, CO₂-impact, socio-economische impact, etc. De stijgende aandacht voor deze bredere impact zal voor beweging zorgen in de watersector, en moet dan ook een prominentere plaats krijgen in toekomstige projecten. Tenslotte kan men pas na het in kaart brengen van de bredere impact een antwoord formuleren op de vraag of het nuttig is om afvalwater centraal dan wel lokaal te zuiveren. Bijlage 1 bevat een uitgebreide versie van het Stappenplan.



Figuur 8-1. Afwegingskader met stappenplan, van I-QUA project.

8.2 Plan van aanpak afwegingskader

8.2.1 Stap 1: In kaart brengen afvalwaterkarakteristieken, randvoorwaarden en beoogde zuivering

Alvorens een geschikte afvalwaterzuiveringsmethode gekozen wordt, dient eerst en vooral een overzicht gemaakt te worden van de karakteristieken van de afvalwaterstroom en de verwachte zuiveringsgraad. Hierbij komen vier groepen factoren naar voren, waarbij rekening moet gehouden worden bij de keuze van de technologieën:

- **Afvalwaterkarakteristieken:** vervuiling, debiet, frequentie afvalwaterstroom, etc. Deze kunnen (indien mogelijk en/of beschikbaar) bemonsterd worden voor de start van het project of ingeschat worden op basis van literatuur.
- **Verwachte waterkwaliteit na behandeling:** afhankelijk van de wetgeving, best beschikbare technologieën (BBT), I-QUA [Longlist](#), ambitie van beslissingsnemer, etc.
- **(Rand)voorwaarden en eigenschappen van de installatie/technologie:** aanlegkost, bedrijfskost, nodige onderhoud, locatie, en duurzaamheid.
- **Afweging van de bredere impact:** milieu-impact op globaal (vb. LCA) en lokaal niveau (vb. Kaderrichtlijn Water), impact op de lokale en regionale waterbalans, CO₂-impact, socio-economische impact, etc. Informatie over deze brede impactcategorieën is vaak complex, onvolledig en contextgevoelig. In de praktijk zal de beslissingsnemer moeten bepalen welke impactcategorieën worden meegenomen, in functie van de ambities van het project en de lange termijn doelstellingen van de betrokken partijen. Verschillende impactcategorieën zullen ook moeten worden afgewogen ten opzichte van elkaar, en er moet rekening gehouden worden met een mate van onzekerheid in de informatie die voorhanden is.

Ook is het belangrijk rekening te houden met het doel van de waterzuivering. Kan bijvoorbeeld lokaal waterhergebruik geïmplementeerd worden, alvorens lozing in oppervlaktewater? Bij lozing dient aan de plaatselijke wettelijke normen te worden voldaan. Die normen verschillen naargelang industriële sector, lozingslocatie en afvalwaterkarakteristieken en dienen dus steeds geraadpleegd te worden. In Vlaanderen is dit terug te vinden in de VLAREM II, voor Nederland is dit de Wet milieubeheer (Wm). Een literatuurstudie doen, waarbij er gekeken wordt naar soortgelijke situaties en de geïmplementeerde best beschikbare technieken (BBT's), kan nuttig zijn.

Concreet voorbeeld uit I-QUA project:

Elke pilot case binnen het I-QUA project werd grondig voorbereid alvorens keuzes werden gemaakt. De werkmethoden verschillen onderling wel, afhankelijk van welke gegevens beschikbaar waren. Zo werd bijvoorbeeld bij de afvalwaterzuivering van de geitenboerderij een grote hoeveelheid gegevens verzameld. De geitenboerderij zuiverde het melkspoelwater al op basis van een plantenzuiveringssysteem met lavastenen. Dit systeem werd gedurende 2 jaar gemonitord om vervolgens op basis van deze meetgegevens (effluent waarden, debiet, etc.) een verdere behandlungsstap te voorzien om aan de lozingsnormen te voldoen (verdere P-verwijdering). Dit in tegenstelling tot de waterzuivering bij voetbalclub HVCH, waar monitoring op voorhand niet haalbaar was. Toch kon er door middel van literatuurgegevens en schattingen tot concrete inzichten en beslissingen gekomen worden.

8.2.2 Stap 2: Mogelijke oplossingsrichtingen – Longlist

Afhankelijk van de factoren uit Stap 1 dient een eerste afweging gemaakt te worden tussen centrale waterzuivering en decentrale waterzuivering. Centraal gecollecteerde waterzuiveringssites hebben al gedurende 100 jaar hun nut getoond en zijn in dichtbevolkte plaatsen (steden en gemeenten) in staat om grote hoeveelheden afvalwater correct en gecontroleerd te zuiveren (inclusief nutriënten), met eventuele recuperatie van nutriënten en energie. Een belangrijk nadeel echter is de aanleg van een rioolnetwerk, dat in het buitengebied voor een groot deel van de kost zorgt. Decentralisatie wordt dan weer gedefinieerd als het lokaal behandelen van afvalwater dicht bij de bron, waarbij er een minimaal afvalwatertransport bestaat (dus geen transportriolering nodig). Dit kan op verschillende schaal georganiseerd worden. Het meest extreme scenario is de individuele behandeling waarbij de afvalstromen reeds aan de bron gescheiden worden. Bij een tweede scenario worden clusters onderscheiden van enkele woningen, gaande tot wijken en woonkernen. Onder het volgende scenario worden grote blokken, zoals scholen, ziekenhuizen en winkelcentra onderverdeeld, waarbij het effluent ter plaatse gezuiverd en hergebruikt wordt. Verder bestaan semi-gecentraliseerde systemen en satellietbehandelingssites. Bij deze laatste gebeurt de zuivering ook deels door een centraal systeem. Een belangrijk aandachtspunt bij decentrale zuivering is het feit dat er verschillende lozingspunten zullen zijn (tegenover 1 lozingspunt bij centrale zuivering) en dat de nutriëntverwijdering vaak minder is.

Aan het begin van het I-QUA project werd een lijst ([Longlist](#)) opgesteld met een overzicht en een kritische bespreking van diverse decentrale afvalwaterbehandelingssystemen. Er werd aandacht besteed aan waterzuivering als dusdanig, maar ook aan mogelijkheden voor waterhergebruik en nuttige toepassingen van nutriënten. Deze lijst is vrij te raadplegen op de [I-QUA website](#). Dit document werd tijdens het I-QUA project gebruikt als startoverzicht, om vervolgens de mogelijke oplossingsrichtingen te kiezen meer specifiek per locatie (naargelang de eerder benoemde eigenschappen van het afvalwater en de gewenste zuiveringsgraad). De [Saniwijzer](#) en de [Sanimonitor](#) bevatten ook heel wat informatie over decentrale zuiveringstechnieken.

Verder dient afgewogen te worden of de lokale waterbehandeling meer geschikt is dan de centrale waterzuiveringsmethode. Bij deze dient eerst en vooral gekeken te worden of de kostprijs van de aanleg en het gebruik van de lokale behandelingstechnieken kan gerechtvaardigd worden, in vergelijking met de kostprijs voor het aanleggen (en onderhouden) van een riolering. Ook moet er gekeken worden naar de duurzaamheid van de decentrale techniek en de mogelijkheden voor lokaal waterhergebruik (van toiletspoelwater tot drinkbaar water). Deze afwegingen kunnen onderzocht worden door middel van een kosten-baten analyse en/of een levenscyclusanalyse (eventueel met externe hulp van een ingenieurbureau, kennisinstanties, etc.). Verder moet ook rekening gehouden worden met de geldende wetgeving. In Nederland is hergebruik van hemelwater bijvoorbeeld een stuk complexer dan in Vlaanderen, waar het dan weer vaak verplicht wordt.

Concreet voorbeeld uit I-QUA project:

Restaurant Gust'Eaux is gelegen in het buitengebied dat collectief te optimaliseren is. In het geval van Gust'Eaux, zou er 300 m riolering moeten worden aangelegd om het restaurant te connecteren op het rioolnetwerk gelegen bij een aanpalende woonwijk. Het connecteren van deze locatie op het rioolnetwerk zou (ruw) geschat ook 3 tot 10 keer duurder kunnen zijn dan de decentrale oplossing (Een zuivering met een helofytenfilter en membranen gebaseerd systeem tot drinkwater). Bovendien werd er ook een levenscyclusanalyse opgemaakt, waarbij de milieu-impact bij centrale en decentrale waterzuivering met waterrecuperatie voor deze pilot case werd vergeleken. Daaruit bleek dat de decentrale optie milieuvriendelijker was, want er werd aangetoond dat indien meer dan 75 m riolering moet aangelegd worden (Gust'Eaux ligt 300 m van het bestaande rioolnetwerk), de milieu-impact kleiner is bij lokale zuivering. In deze pilot werd na zuivering met de helofytenfilter een waterhergebruik behaald van 90 %. Dit water dient voor toepassingen binnen het restaurant (toiletten spoelen, kuisen, etc.) en als drinkbaar water na verdere zuivering met een membraansysteem.

8.2.3 Stap 3: Concrete technologiekeuze – Short list

Na afwegingen op basis van Stap 2 wordt een short list opgemaakt, met de selectie van de best geschikte oplossingen/technologieën per locatie. Het is nu de bedoeling de mogelijke oplossingsstrategieën onderling te vergelijken, om via een goed gemotiveerde overweging tot de meest aangewezen technologie te komen. Een mogelijke aanpak hierbij is het uitvoeren van een Multi criteria-analyse. Hierbij wordt per technologie punten gegeven in verschillende categorieën, zoals investeringskost, onderhoud/bediening, waterkwaliteit voor doel, flexibiliteit, robuustheid en beeldvorming, etc. Verschillende aspecten en bedenken (boven op technische haalbaarheid) kunnen hierbij in rekening gebracht worden. Er kan overwogen worden om bijvoorbeeld dure maar slimme wateroplossingen te realiseren of voor de goedkoopste optie te gaan. De impact van de technologiekeuze op de waterfactuur en saneringsbijdragen kan in rekening gebracht worden. Ook verborgen kosten kunnen overwogen worden (vb. doordat er minder betaald wordt op de waterfactuur maar nog steeds gebruik wordt gemaakt van het publieke leidingwater- of rioleringsnetwerk kan de kost voor andere gebruikers stijgen). Lokale en/of internationale waterbalansen kunnen worden in rekening gebracht. Er kan worden bekeken of hergebruiken in waterschaarse regio's nuttig is als het leidingwater wordt aangevoerd uit een niet-waterschaarse regio. Er kan gekeken worden of het zinvol is om hemelwater te hergebruiken, of net te infiltreren.

De scores voor de Multi criteria-analyse worden best gegeven door een aantal personen met verschillende ervaring en/of achtergrond (ingenieursbureau, kennisinstelling, (lokale) overheid, etc.). Op basis van de score zal de meest geschikte technologie of oplossing naar voren komen, ook rekening houdende met de factoren uit Stap 1. Deze analyse wordt typisch uitgevoerd in de ontwerpfase van het project en is op basis van inschattingen en aannames van de deelnemende experts. Door voortschrijdend inzicht en/of op basis van de behaalde resultaten in bijvoorbeeld pilootprojecten kan een dergelijke score nog veranderen voor de uiteindelijke bouwfase.

Er is op te merken dat een combinatie van technologieën ook een mogelijke oplossing kan zijn. Elke technologie heeft zijn voor- en nadelen en door een combinatie van goedkopere, laag onderhoud technologieën kunnen mogelijks de gewenste lozingsvoorwaarden al behaald worden. Uit de shortlist dient eigenlijk de meest geschikte waterzuiveringsmethode(n) gekozen te worden om mee verder te gaan.

Concreet voorbeeld uit I-QUA project:

Afvalwater afkomstig van de melkstal (capaciteit 1000 melkgeiten) en huishoudelijk afvalwater van het gezin (5 IE) moet gezuiverd worden om aan de milieueisen te kunnen voldoen. Door de karakteristiek van het water is dit niet eenvoudig met een IBA, aangezien er moet voldaan worden aan strenge normen wat betreft de lozing van stikstof en fosfor. Een meer uitgebreide decentrale behandeling werd daarom toegepast, waarbij verschillende waterzuiveringstechnieken werden gecombineerd. De geitenboerderij zuiverde het melkspoelwater al op basis van een plantenzuiveringssysteem met lavastenen. Dit systeem is eenvoudig, robuust en vergt relatief weinig ruimte. Echter is een verdere behandelingsstap nodig om aan de lozingsnormen te voldoen, voor voornamelijk fosfor. In deze case werd er met behulp van een Multi criteria-analyse (Tabel 8-1, zie ook Hoofdstuk 4) gekozen voor een vernieuwende techniek, namelijk een zandfilter op basis van "ijzeroxide gecoat zand" (IOCS).

Tabel 8-1 Multicriteria-analyse toegepast bij zuivering geitenboerderij - Per categorie worden punten gegeven van 0 tot 5, waarbij 5 een uitstekend resultaat betekent en 0 ongeschikt is. Het eindtotaal (op 30 punten) werd bekomen door de categorieën per technologie op te tellen. Deze analyse werd uitgevoerd in de ontwerpfase van het project en was op basis van inschattingen en aannames die op dat moment beschikbaar waren.

Onderverdeling hoofdpunten	Lagune met eendenkroos	IOCS	Schorsfilter	Ionenuitwisseling	Membraanfiltratie
Investering	4	3	4	1	1
Onderhoud/bediening	2	3	3	2	2
Waterkwaliteit voor doel	3	4	2	4	4
Flexibiliteit	3	4	3	3	3
Robuustheid	2	4	3	3	3
Beeldvorming	4	3	3	3	3
Totaal	18	21	18	16	16

Uit de resultaten van het onderzoek was gebleken dat de combinatie van een plantenzuiveringssysteem met de IOCS-korrels geschikt was om de strenge lozingsnormen te halen. Bijkomend is de IOCS-filter een mooie circulaire oplossing, aangezien het filtermateriaal een restproduct is van de drinkwaterproductie (Pidpa).

8.2.4 Stap 4: Uitvoeren en bouwen

Als eenmaal de technologiekeuze gemaakt is, kan het uitvoeren beginnen. Hierbij moet zeker aandacht besteed worden aan het aanvragen van eventuele goedkeuringen/(bouw)vergunningen bij de bevoegde instanties (gemeente, provincie, gewest, etc.). Vervolgens dient gezocht te worden naar een geschikte technologieleverancier. Hierbij kan eerst lokaal gekeken worden, maar het kan interessant zijn om ook buitenlandse offertes aan te vragen. Door met concurrerende technologieleveranciers in gesprek te gaan, zal de beste oplossing naar voren komen en kan ook eventueel nieuwe informatie verkregen worden. Hierbij dient niet enkel rekening gehouden te worden met de kostprijs, maar moet ook een afweging gemaakt worden van de prijs-kwaliteit en service van de technologieleveranciers. Er wordt aangeraden om enkel gebruik te maken van leveranciers die gekeurd zijn (vb. CE en/of BENOR). In elk geval moet dergelijke procedure voldoen aan de geldende wetten op overheidsopdrachten.

Vervolgens kan overgegaan worden tot de implementatie, in samenwerking met de leverancier. Tijdens de voorbereiding moet nader gekeken worden naar exacte inplanting, afmetingen, veiligheid, connectie, waterrecuperatie, etc. Ten slotte kan de installatie geconnecteerd en in gebruik genomen worden.

8.2.5 Stap 5: Opvolging en onderhoud

Eens de waterzuiveringsinstallatie in gebruik is, dient de werking van het systeem gemonitord en onderhouden te worden. Hierbij kan het monitoringsprotocol van de [Sanimonitor](#) worden gevolgd. Dit protocol beoogt dat iedereen in de toekomst zoveel mogelijk dezelfde parameters op dezelfde wijze gaat monitoren. In het protocol wordt ook aangegeven hoe die monitoring moet plaatsvinden om betrouwbare data te bekomen.

In het I-QUA project waren UGent (LIWET) en Aquafin de partners die gedurende langere periode (tot meerdere jaren) de pilots opvolgden. Bij innovatieve technologieën zijn uitgebreide meetcampagnes nodig om bijkomend kennis te verwerven en de opstelling eventueel bij te sturen. De meetparameters werden grotendeels gekozen op basis van het monitoringsprotocol van de Sanimonitor en in functie van de geldende normen voor de bestemming van het behandelde water. Water bestemd voor drinkwater moet veel vaker en strenger gecontroleerd worden dan bijvoorbeeld water bestemd om toiletten te spoelen. Het is noodzakelijk om de zuivering gedurende een langere periode te analyseren. Hierdoor wordt er rekening gehouden met de verschillende omstandigheden die kunnen plaatsvinden, zoals verschillende debieten en samenstelling afvalwater, weersomstandigheden/seizoenen, slijtage opstelling, etc. De gekozen meetanalyses en de aanpak van opvolging voor de I-QUA cases, is terug te vinden in de voorgaande hoofdstukken. Indien uit de analyses blijkt dat de installatie niet volgens de verwachtingen voldoet (normen niet gehaald, storingen, etc.), dienen hierop doordachte aanpassingen gedaan te worden. Soms kunnen kleine aanpassingen (zoals debiet verlagen, ander substraat, etc.) al effect hebben op de verwijderingsefficiëntie van de verschillende parameters (terugkoppeling naar Stap 3 en 4 is dan nodig). Echter kunnen ook bijkomende zuiveringsstappen nodig zijn in het proces en dienen grotere aanpassingen herbekeken te worden (terugkoppeling naar Stap 2 en 3 is dan nodig).

Concreet voorbeeld uit I-QUA project:

Het I-QUA project bestond eruit om innovatieve waterzuiveringsmethodes in het buitengebied toe te passen en te controleren door middel van uitgebreide analysecampagnes. Aan de hand van die meetresultaten konden de opstellingen gepast geoptimaliseerd worden gedurende de looptijd van het I-QUA project. Zo werd er bij de drinkwaterinstallatie bij Gust'Eaux een IEX-filterstap toegevoegd, aangezien uit de meetresultaten bleek dat verdere nitriet- en ammoniumverwijdering nodig was. Ook werd een extra filterstap toegevoegd in de opstelling bij het zuiveren van het carwashwater. Deze was nodig om de membraanfilters in het proces te beschermen. Beide voorbeelden gaan over aanpassingen aan opstelling/proces, die zorgden voor een optimalisatie van de werking.

8.2.6 Stap 6: Demonstratie behandelingsinstallatie

Als de installatie in gebruik is en een optimale werking blijkt uit de meetcampagnes, is het aan te raden om de installatie te demonstreren. Hierbij krijgen alle stakeholders (o.a. burgemeester, schepenen, omwonenden en geïnteresseerden, pers, etc.) de mogelijkheid om de installatie te bekijken en meer informatie te verkrijgen. De demonstratie kan gelinkt worden aan een positieve publiciteit, door het plaatsen van een infobord of het organiseren van een infomoment met eventueel de aanwezigheid van de (regionale) pers. Dit kan ervoor zorgen dat mensen meer aandacht gaan besteden aan het lot en de zuivering van afvalwater.

Concreet voorbeeld uit I-QUA project:

Het doel van het I-QUA project was innovatieve waterbehandelingen toepassen en vervolgens voorstellen aan zo veel mogelijk stakeholders. Om deze reden werd de voorkeur gegeven aan waterzuiveringsproblemen bij openbare plaatsen, waar (veel) mensen kunnen bereikt worden: van festivals in Vlaanderen tot een carwash of voetbalclub met 1000 leden in Nederland. Bij elke testlocatie werd een infobord geplaatst. Infomomenten en bezoeken aan de demonstratielocaties werden georganiseerd, waarvoor o.a. de burgemeester en ministers werden uitgenodigd. Bij deze momenten waren ook (lokale) kranten aanwezig. I-Qua heeft ook een eigen website waar info over de pilots wordt gedeeld. De resultaten werden via verschillende kanalen verspreid, dit zowel door partners als federaties/sectororganisaties buiten het partnerschap. Informatie over de projecten en de meetresultaten werden opgenomen in de 'Saniwijzer', met daaraan gekoppeld een 'Sanimonitor' (onafhankelijke website ontwikkeld door de Nederlandse stichting STOWA). De Longlist en de metingen binnen het project werden ook besproken in een aantal expertmeetings. De resultaten van het I-QUA project werden voorgesteld op internationale congressen in Griekenland en Italië. Het slotevent, waar door de partners dieper ingegaan werd op de projecten van I-QUA in Vlaanderen en Nederland, ging door op 7 december 2021 en kan herbekeken worden op de I-QUA website. Door het toepassen van vooruitstrevende en duurzame concepten kan men zich onderscheiden van de concurrentie. Zo heeft restaurant Gust'Eaux een waterhergebruik van 90 % bereikt, waaronder ook de zuivering van afvalwater tot drinkbaar water. Dit drinkbaar water werd aangeboden als tafelwater aan de klanten en er werd ook een bier mee gebrouwen (genaamd Labo). Recreatieterrein Pukkemuk zuivert en hergebruikt (niet drinkbare toepassingen) afvalwater afkomstig van vakantiehuisjes, waardoor dit voor klanten ook een leerrijke bewustmaking kan zijn.

8.3 Uitzonderingen

Het afwegingskader dient gebruikt te worden als een stappenplan bij het kiezen van de meest geschikte waterzuiveringsmethode per situatie. Het is een helpende hand, maar uiteraard zijn uitzonderingen hierop mogelijk. Voor 'speciale gevallen' waar waterzuivering nodig is, kunnen er namelijk geen standaard commerciële oplossingen beschikbaar zijn. In deze gevallen is het belangrijk te zoeken naar innovatieve oplossingen en deze te monitoren en te rapporteren. Op deze manier kan men tot een verbreding van de oplossingsmogelijkheden komen en kunnen soortgelijke vraagstukken in de toekomst beter aangepakt worden.

Concreet voorbeeld uit I-QUA project:

Jaarlijks worden er in het buitengebied veel events met grote bezoekersaantallen georganiseerd, dit zowel in Vlaanderen als in Nederland. Op al deze events worden mobiele toiletten, eettentjes/foodtrucks, douches, etc. geplaatst, die vaak gewoon op het oppervlaktewater lozen of waarvan het afvalwater afgevoerd wordt naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie. In Vlaanderen wordt beleidsmatig meer ingezet op het lokaal zuiveren ervan. We zochten dus naar mobiele systemen die water en energie besparen en op korte termijn grote hoeveelheden water kunnen verwerken, wat niet evident was voor bestaande systemen. De case met de mobiele zuivering is gestart vanuit de experimentele ontwikkeling van de technologische kennis van de partners (opgedane ervaring bij vaste helofytenfilters), aangevuld met wetenschappelijke kennis van de betrokken kennispartners om tot een mobiele zuiveringsunit te komen. Er werd getracht worden om een mobiel, op planten gebaseerd zuiveringssysteem te realiseren en de hele keten van wateraanvoer, toiletten, douches en zuivering optimaal op elkaar af te stemmen tot een totaalconcept.

8.4 Conclusie

Een kant en klare oplossing voor alle waterzuiveringsproblemen bestaat niet en elke casus dient dus apart bekeken te worden. Het kiezen van een correcte waterzuiveringstechniek is geen gemakkelijke opgave, aangezien er met veel factoren en aspecten rekening dient gehouden te worden. Het is hierbij belangrijk alle mogelijke opties voor ogen te houden en te streven naar extra mogelijkheden, zoals waterhergebruik en nutriëntenrecuperatie indien dit technisch en wettelijk mogelijk is. Afvalwater dient tegenwoordig gezien te worden als een bron van grondstoffen, wat zonde is om zomaar weg te spoelen. De oplossingen die voortgekomen zijn uit dit project, zijn gericht op waterrecuperatie en het besparen of terugwinnen van grondstoffen.

Centrale afvalwaterbehandeling kan als 'gemakkelijk' beschouwd worden in de ogen van de 'beslissingsnemer', maar voor locaties in buitengebied gaat dit gepaard met grote kosten, omwille van de lange afstand riolering ten opzichte van het geproduceerde volume afvalwater. Tegenwoordig wordt er dan ook steeds meer ingezet op lokale zuivering in buitengebied, aangezien dit goedkoper en duurzamer kan zijn en waterrecuperatie hierbij ook een mogelijkheid biedt. Dit is echter nog een vernieuwend concept, waarbij sommige technologieën al beginnend commercieel worden toegepast, maar verder onderzoek en optimalisatie nog nodig zijn. Het Interreg project I-QUA zocht specifieke antwoorden voor speciale locaties waarvoor nog geen kant-en-klare commerciële oplossingen voor handen waren. Dit project zorgde voor experimentele ontwikkeling op vlak van waterbehandeling in het buitengebied. Belangrijk is wel om op te merken dat, alhoewel verschillende succesvolle demonstraties werden gerealiseerd, niet alle aspecten besproken in het afwegingskader konden worden in rekening gebracht. Er werd gefocust op een kosten/baten analyse en een globale duurzaamheidsanalyse (LCA). In andere, toekomstige projecten kunnen andere aspecten (zoals bijvoorbeeld de regionale waterbalans of de verborgen kosten) aan bod komen.

9 Algemene conclusie

Het doel van het I-QUA-project was om kennis en ervaring op te doen met nieuwe afvalwaterzuiveringstechnologieën voor het buitengebied die het milieu beschermen en terugwinnen van grondstoffen mogelijk maken. Stakeholders uit Nederland en Vlaanderen zijn een grensoverschrijdende samenwerking aangegaan om duurzame en innovatieve afvalwaterzuiveringstechnologieën voor het buitengebied te ontwikkelen, onderzoeken en demonstreren.

Op 6 pilotlocaties werd de gehele keten van wateraanvoer, -afvoer en -zuivering optimaal op elkaar afgestemd tot een totaalconcept. Uit de pilots blijkt dat er verschillende afvalwaterzuiveringstechnieken mogelijk zijn voor verschillende afvalwaterstromen. Voor een groot deel van de technologieën is aangetoond dat deze geschikt zijn voor decentrale zuivering van verschillende soorten afvalwaters in het buitengebied. Aangetoond is dat er alternatieven zijn voor riolering. Sommige veelbelovende technologieën vergen nog wel verder onderzoek en ontwikkeling voordat deze breed toegepast kunnen worden.

Om te bepalen of de zuiveringstechnologieën geschikt zijn voor het zuiveren van het desbetreffende afvalwater is gekeken of het effluent van de technologie voldoet aan de lozingseisen, en of de beoogde waterkwaliteit voor hergebruik is behaald (waar dit van toepassing was). De lozingsnormen zijn voor Vlaanderen en Nederland verschillend. De technologieën zijn alleen getoetst op de norm van het land waarin deze gesitueerd was, en het doel waarvoor het effluent werd geproduceerd.

- De mobiele zuivering ECOZmobile was geschikt om het grijswater van grote evenementen te zuiveren, de Vlaamse lozingseisen werden behaald. Deze behandelingsunit was niet geschikt om gemengd afvalwater van evenementen te behandelen. De additionele behandelingsunit die het effluent van de mobiele zuivering tot drinkwater opwerkte, kon de Vlaamse drinkwaternorm voor stikstof en EC behalen.
- Het helofytenfilter toegepast bij Gust'Eaux bleek geschikt voor de verwerking van het restaurantafvalwater (van toiletten en keuken), het geproduceerde afvalwater kon aan de Vlaamse lozingseisen voldoen. Het drinkwater dat geproduceerd werd door de additionele behandelingstrein, die het effluent van het helofytenfilter behandelde, kon aan alle Vlaamse drinkwaternormen voldoen. Hierbij kon 90% van het afvalwater worden hergebruikt binnen het restaurant (toiletspoelen, schoonmaak, etc.) en als drinkwater na de verdere zuivering.
- Bij de geitenboerderij te Lochristi zijn twee complementaire zuiveringssystemen getest voor de secundaire zuiveringsstap van gemengd huishoudelijk afvalwater in combinatie met spoelwater van melkmachines. Het doel van deze zuiveringssystemen was om fosfaat te verwijderen. Het IOCS-filter was geschikt voor deze behandeling en behaalde de Vlaamse lozingsnorm voor fosfaat. Echter kon de eendenkroosvijver niet de beoogde fosforverwijdering bewerkstelligen en behaalde de lozingsnorm niet.
- De behandeling van zwartwater met een MBR, toegepast in de pilot bij HVCH, lijkt een geschikte methode om de lozingsnormen in Nederland te behalen. De verwijdering van fosfaat vergt echter nog verdere monitoring om deze conclusie te kunnen bevestigen. De Phytoparking bij HVCH heeft geen representatief influent kunnen ontvangen tijdens dit project. Verder onderzoek is nodig om te kunnen concluderen dat deze geschikt is om grijswater te zuiveren tot onder de Nederlandse lozingsnormen. Het effect van ozonbehandeling op de aanwezige medicijnresten in urine kon niet goed worden aangetoond. Toepassing van behandelde urine als meststof bleek in Nederland wettelijk niet mogelijk.

- Bij de Carwash te Gilze-Rijen is een zuiveringsinstallatie ontwikkeld en getest voor de behandeling van het afvalwater van een autowasstraat tot een kwaliteit waarbij het weer ingezet kan worden als waswater. Hiervoor zijn een aantal voorbehandelingsstappen in combinatie met omgekeerde osmose gebruikt. In de pilot is gebleken dat deze combinatie van technieken geschikt is om de beoogde kwaliteit voor hergebruik van het afvalwater te behalen.
- De pilot bij Pukkemuk is gedurende de looptijd van het project niet opgestart. Voor deze pilot is daarom geen conclusie over de werking van de technologie getrokken.

Naast het ontwikkelen en toetsen van de werking van de zuiveringstechnologieën is ook gekeken naar de financiële haalbaarheid. Hieruit blijkt dat voor een aantal technologieën nog een optimalisatieslag nodig is voordat deze financieel aantrekkelijk zullen zijn. Met name de mobiele zuivering, de MBR en omgekeerde osmose bleken niet financieel rendabel in de pilots. Hierbij moet wel de kanttekening worden geplaatst dat in de pilot veel ontwikkel- en monitoringskosten worden gemaakt. Over de technologieën bij de geitenboerderij is geen financiële informatie beschikbaar gemaakt. Hier kunnen dus geen conclusies over worden getrokken. Ook zijn er technologieën die wel financieel aantrekkelijk lijken. De zuiveringsinstallatie bij Gust'Eaux werd 3 tot 10 keer goedkoper geacht dan het aanleggen van het rioolnetwerk. Ook de Phytoparking bij HVCH en de zuiveringsinstallatie bij Pukkemuk lijken financieel haalbaar te zijn. Het moet echter nog aangetoond worden of deze technologie aan de lozingsnorm en hergebruikseisen kunnen voldoen.

De doorlopen ontwikkelprocessen verschillen per pilot. Hierbij zijn veel variabelen. Afhankelijk van de casus verschilde het type en aantal betrokken stakeholders (overheden, leveranciers, adviseurs), de wettelijke kaders waaraan de installatie en/of het effluent moet voldoen, de benodigde vergunningen, de samenstelling en hoeveelheid afvalwater, en welk type technologie het meest geschikt is. Deze omgang met afvalwater in het buitengebied is relatief nieuw, en afwezigheid van een gestructureerd en vastgesteld proces maakt realisatie van dergelijke projecten zeer lastig. Gedurende het project is gemerkt dat het veel energie kost om een pilot te realiseren. Als de pilot eenmaal ontwikkeld is, komen er vaak veel positieve reacties en worden overheden welwillend om mee te denken. De ervaringen opgedaan in het I-QUA project zijn daarom gebruikt om een afwegingskader op te stellen, die in de toekomst gebruikt kan worden om dit proces te faciliteren. Ook is kennis over omgang met afvalwater, in de vorm van een Longlist en informatie op de website van I-QUA, de Saniwijzer en de Sanimonitor, gratis beschikbaar gesteld aan geïnteresseerden.

In het algemeen heeft het I-QUA project de doelstelling om kennis en ervaring op te doen met nieuwe afvalwaterzuiveringstechnologieën voor het buitengebied behaald. In het project is aangetoond dat er verschillende decentrale zuiveringstechnologieën mogelijk zijn voor de decentrale behandeling van verschillende afvalwaters in het buitengebied en dat deze een alternatief kunnen bieden voor riolering. Door de grensoverschrijdende samenwerking tussen Nederland en Vlaanderen is inzicht en kennis opgedaan over elkaars dilemma's en opgaven. De nieuwe inzichten die zijn opgedaan zorgen ervoor dat zowel in Vlaanderen als Nederland gerichtere keuzes kunnen worden gemaakt in het aanpakken van deze opgaven. Ook heeft het project kansen aangetoond voor verdere ontwikkeling. Dit wordt onder andere bij de HVCH-pilot uitgevoerd, waar de komende 2 jaar wordt geïnvesteerd in het door ontwikkelen en testen van de technologieën voor verdere toepassing in het buitengebied. De opgedane ervaringen en resultaten worden ook meegenomen in twee Interreg voorstellen waar momenteel aan wordt gewerkt, ook weer met Vlaamse en Nederlandse partners. Het Interreg OPTISPORT project focust op samenwerking rond water en sportdomeinen, en in het I-QUA 2.0 project wordt verder gebouwd op de kennis en ervaringen opgedaan binnen I-QUA.

Er is binnen het project veel kennis en ervaring opgedaan die ook van waarde zijn voor de vervolgpiloten. De volgende aanbevelingen worden meegegeven:

- Een aantal technieken heeft baat bij het grootschaliger en/of langer testen hiervan. Voorbeelden zijn het IOCS-filter en de eendenkroosvijver. De Phytoparking, de RO-installatie, en het wilgenfilter behoeven nog verdere ontwikkeling voordat deze breed toegepast kunnen worden in het buitengebied.
- Lang niet alle ervaringen en lessons learned zijn tijdens het project goed gedocumenteerd, waardoor waardevolle inzichten verloren dreigen te raken. De opgedane inzichten van verschillende pilots waren alleen bekend bij de betrokken partners, en kon achteraf alleen mondeling achterhaald worden. Bij HVCH was hier wel veel aandacht aan besteed. Dit werd tijdens het opstellen van de verschillende eindrapportages duidelijk. Informatie over het doorlopen proces, onderbouwing van beslissingen en lessen voor de toekomst waren snel te achterhalen uit verschillende notities en rapporten. Aanbevolen wordt om bij vervolgpiloten het proces (o.a. lessons learned en beslismomenten) goed te documenteren.
- De stap van ontwerp naar realisatie is cruciaal. er zijn in de praktijk altijd onvoorziene omstandigheden bijvoorbeeld opstart, zoals een samenstelling en hoeveelheid afvalwater die anders is dan geschat, vorstschade, verandering van personeel en onvoorziene gebeurtenissen. Aanbevolen wordt om deze stap bij het ontwerp van het project expliciet op te nemen zodat er ruimte ontstaat om gedurende het proces op de onvoorziene omstandigheden te anticiperen.
- De aanbestedingsregels en duurzaamheidseisen zoals gesteld door Interreg zijn begrijpelijk, maar bleken ook een beperking voor het testen van innovatieve projecten. Het mislukken van projecten en de noodzaak om te kunnen anticiperen op nieuwe ontwikkelingen is inherent aan innovatieve ontwikkel- en demonstratieprojecten. De aanbestedingsregels en duurzaamheidseisen werkten dit bij verschillende pilots in het I-QUA project, tegen.

10 Referenties

- Alboort, J., (2016). Omgaan met huishoudelijk afvalwater [WWW Document]. URL <https://www.waterbewustbouwen.be/artikel/3/omgaan-met-huishoudelijk-afvalwater/> (accessed 12.20.21).
- American Public Health Association. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. New York.
- AQUAFIN. (n.d.). Veelgestelde vragen over IBA's | Aquafin. Retrieved 7 May 2021, from <https://www.aquafin.be/nl-be/particulieren-waterzuivering-individuele-waterzuivering/veelgestelde-vragen-over-ibas>
- Atalla, A., Pelissari, C., de Oliveira, M., de Souza Pereira, M. A., Cavalheri, P. S., Sezerino, P. H., & Filho, F. J. C. M. (2020). Influence of earthworm presence and hydraulic loading rate on the performance of vertical flow constructed wetlands. *Environmental Technology (United Kingdom)*. <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1710572>
- Bohórquez, E., Paredes, D., & Arias, C. A. (2017). Vertical flow-constructed wetlands for domestic wastewater treatment under tropical conditions: effect of different design and operational parameters. *Environmental Technology (United Kingdom)*. <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1230650>
- Boutin, C., & Prost-Boucle, S. (2015). Vertical flow constructed wetlands subject to load variations: An improved design methodology connected to outlet quality objectives. *Water Science and Technology*. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.271>
- Brix, H., & Arias, C. A. (2005). The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. *Ecological Engineering*, 25(5), 491–500. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.07.009>
- De Carvalho, O., Rodrigues, M. V. C., Nonaka, F. M., & Machioni, M. A. (2018). Nitrogen Removal in a Partially Saturated Vertical Subsurface Flow Constructed Wetland Used for Restaurant Wastewater Treatment. *Journal of Environmental Engineering (United States)*, 144(7), 1–5. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001384](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001384)
- Dodd, M. C., Zuleeg, S., Gunten, U. V., & Pronk, W. (2008). Ozonation of source-separated urine for resource recovery and waste minimization: process modeling, reaction chemistry, and operational considerations. *Environmental Science & Technology*, 42(24), 9329–9337.
- Dotro, G., Gunter, L., Pascal, M., Jaime, N., Jaume, P., Otto, S., & Marcos, von S. (2017). *Treatment Wetlands (IWA 2017)* (Vol. 7). <https://doi.org/10.2166/9781780408774>
- Dotro, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., & Stein, O. (2017). *BIOLOGICAL WASTE WATER TREATMENTS ERIES Treatment and* (Vol. 7).
- Fan, J., Liang, S., Zhang, B., & Zhang, J. (2013). Enhanced organics and nitrogen removal in batch-operated vertical flow constructed wetlands by combination of intermittent aeration and step feeding strategy. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1130-7>
- Ghosh, D., & Gopal, B. (2010). Effect of hydraulic retention time on the treatment of secondary effluent in a subsurface flow constructed wetland. *Ecological Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.04.017>
- HACH. (n.d.). HQ30D Digitale multimeterkit, pH gelelektrode en LDO probe | Hach Nederland.
- Hallberg, K. B., & Johnson, D. B. (2005). *Biological manganese removal from acid mine drainage in constructed wetlands and prototype bioreactors*. 338, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.09.011>

- HANNA Instruments. (n.d.). HI-98703 Turbidity Meter.
- Hickey, A., Arnscheidt, J., Joyce, E., O'Toole, J., Galvin, G., O'Callaghan, M., ... Kavanagh, E. (2018). An assessment of the performance of municipal constructed wetlands in Ireland. *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.079>
- Hussain, F., Quan, H., Kerkhove, F. Van, Igodt, W., Depuydt, V., Desloover, J., ... Hulle, S. W. H. Van. (2020). Science of the Total Environment Water treatment and re-use at temporary events using a mobile constructed wetland and drinking water production system. *Science of the Total Environment*, 737, 139630. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139630>
- Huybrechts, D., Baere, P. de, Espen, L. van, (2002). Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor car- en truckwash. Vito 2002/IMS/R/192. Beschikbaar online.
- Jácome, J. A., Molina, J., Suárez, J., Mosqueira, G., & Torres, D. (2016). Performance of constructed wetland applied for domestic wastewater treatment: Case study at Boimorto (Galicia, Spain). *Ecological Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.049>
- Koninklijk besluit. (2002). Koninklijk besluit betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water dat in voedingsmiddeleninrichtingen verpakt wordt of dat voor de fabricage en/of het in de handel brengen van voedingsmiddelen wordt gebruikt.
- Kröpfelová, L., Vymazal, J., Švehla, J., & Štichová, J. (2009). Removal of trace elements in three horizontal subsurface flow constructed wetlands in the Czech Republic. *Environmental Pollution*, 157(4), 1186–1194. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.12.003>
- Lakho, F. H., Mattheeuws, F., Igodt, W., Depuydt, V., Desloover, J., ... Van Hulle, S. (2021a). Decentralized grey and black water reuse by combining a vertical flow constructed wetland and membrane based potable water system: Full scale demonstration. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104688>
- Lakho, F. H., Qureshi, A. S., Igodt, W., Le, H. Q., Depuydt, V., Rousseau, D. P. L., ... Thomassen, G. (2021b). *Resources , Conservation & Recycling Life cycle assessment of two decentralized water treatment systems combining a constructed wetland and a membrane based drinking water production system*.
- Manios, T., Stentiford, E. I., & Millner, P. (2003). Removal of total suspended solids from wastewater in constructed horizontal flow subsurface wetlands. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 38(6), 1073–1085. <https://doi.org/10.1081/ESE-120019865>
- Masi, F., & Martinuzzi, N. (2007). Constructed wetlands for the Mediterranean countries: hybrid systems for water reuse and sustainable sanitation. *Desalination*. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.11.014>
- Maurer, M., Pronk, W., Larsen, T.A., (2006). Treatment processes for source-separated urine. *Water Research*, 40(17). 3151-3166.
- Moelants, N., Smets, I. Y., & Van Impe, J. F. (2011). The potential of an iron rich substrate for phosphorus removal in decentralized wastewater treatment systems. *Separation and Purification Technology*, 77(1), 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2010.11.017>
- Mulder, M., (2021). Evaluatie gidsstoffen. Mirabella Mulder Waste Water Management.
- Papaevangelou, V., Gikas, G. D., & Tsihrintzis, V. A. (2016). Effect of Operational and Design Parameters on Performance of Pilot-Scale Vertical Flow Constructed Wetlands Treating University Campus Wastewater. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1484-6>
- Paul, R., Kenway, S., & Mukheibir, P. (2019). How scale and technology influence the energy intensity of water recycling systems-An analytical review. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.148>

- Prochaska, C. A., Zouboulis, A. I., & Eskridge, K. M. (2007). Performance of pilot-scale vertical-flow constructed wetlands, as affected by season, substrate, hydraulic load and frequency of application of simulated urban sewage. *Ecological Engineering*, 31(1), 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.05.007>
- Ramprasad, C., Smith, C. S., Memon, F. A., & Philip, L. (2017). Removal of chemical and microbial contaminants from greywater using a novel constructed wetland: GROW. *Ecological Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.05.022>
- Richtlijn 98/83/EG. (1998). Richtlijn 98/83/EG van de Raad van 3 november 1998 betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water.
- Robert H. Kadlec, ., & Wallace, S. D. (2008). Treatment Wetlands. *Water Intelligence Online, Second edi*, 9781780408774.
- Stefanakis, A. I., & Tsihrintzis, V. A. (2011). Effects of loading, resting period, temperature, porous media, vegetation and aeration on performance of pilot-scale vertical flow constructed wetlands. *Chemical Engineering Journal*, 416–430. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.11.108>
- Sylla, A. (2020). Ecohydrology & Hydrobiology Domestic wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with *Arundo donax*, and the intermittent sand filters impact. *Integrative Medicine Research*, 20(1), 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.11.004>
- U.S. EPA. (1994). *Method 200.8, Revision 5.4: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry*.
- Van Eeckhoudt, C. (2008). *Afvalwaterproblematiek op melkveebedrijven*. 57.
- Van Hulle, S. W. H., Ghyselbrecht, N., Vermeiren, T. J. L., Depuydt, V., & Boeckaert, C. (2012). Individual treatment of hotel and restaurant waste water in rural areas. *Environmental Technology*, 33(6), 653–661. <https://doi.org/10.1080/09593330.2011.587025>
- Vlaamse Milieumaatschappij. (2018). *Kosten voor riolering - Een blik vooruit*. 66.
- VLAREM II. (1995). Besluit van de Vlaamse regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne.
- VLAREM II. (2010). Decision of the Flemish Government 537 of 21/05/2010 concerning general and sectoral regulations with regards to Environmental Issues. Belgian Government Gazette, 09/07/2010 (revision of the original decision from 1995).
- VLARIO. (n.d.). IBA - VLARIO. Retrieved 7 May 2021, from <https://www.vlario.be/lokaal-bestuur/iba/>
- Wang, J., Tai, Y., Man, Y., Wang, R., Feng, X., Yang, Y., ... Cai, N. (2018). Capacity of various single-stage constructed wetlands to treat domestic sewage under optimal temperature in Guangzhou City, South China. *Ecological Engineering*, 115(December 2017), 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.02.008>
- Weerakoon, G. M. P. R., Jinadasa, K. B. S. N., Herath, G. B. B., Mowjood, M. I. M., Zhang, D., Tan, S. K., & Jern, N. W. (2016). Performance of Tropical Vertical Subsurface Flow Constructed Wetlands at Different Hydraulic Loading Rates. *Clean - Soil, Air, Water*. <https://doi.org/10.1002/clen.201500101>
- Yadav, A., Chazarenc, F., & Mutnuri, S. (2018). Development of the “French system” vertical flow constructed wetland to treat raw domestic wastewater in India. *Ecological Engineering*, 113(December 2017), 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.01.001>
- Zraunig, A., Estelrich, M., Gattringer, H., Kisser, J., Langergraber, G., Radtke, M., ... Buttiglieri, G. (2019). Long term decentralized greywater treatment for water reuse purposes in a tourist facility by vertical ecosystem. *Ecological Engineering*, 138, 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.07.003>

10.1 Hyperlinks

Activiteitenbesluit artikel 2.2	-	https://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2021-07-01#Hoofdstuk2_Afdeling2.2_Artikel2.2
Activiteitenbesluit artikel 3.23a	-	https://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2021-07-01#Hoofdstuk3_Afdeling3.3_Paragraaf3.3.2_Artikel3.23a
Activiteitenbesluit milieubeheer artikel 3.5	-	http://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2018-01-01#Hoofdstuk3_Afdeling3.1_Paragraaf3.1.4_Artikel3.5
Activiteitenbesluit milieubeheer artikel 3.5e	-	http://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2018-01-01#Hoofdstuk3_Afdeling3.1_Paragraaf3.1.4a_Artikel3.5e
Artikel in het VRT	-	https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2019/10/10/water-uit-de-wc-zuiveren-tot-drinkwater-in-kuurne-gebeurt-het/
Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer artikel 1.7	-	http://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2018-01-01#Hoofdstuk1_Afdeling1.1_Paragraaf1.1.2_Artikel1.7
Besluit lozingen buiten inrichtingen artikel 3.6	-	http://wetten.overheid.nl/BWBR0029789/2016-01-01#Hoofdstuk3_Paragraaf3.4_Artikel3.6
Drinkwater besluit artikel 5	-	https://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/2021-10-13#Hoofdstuk1_Paragraaf1.2_Artikel5
Drinkwaterbesluit artikel 1	-	https://wetten.overheid.nl/BWBR0026338/2021-10-13#HoofdstukI_Artikel1
Drinkwaterbesluit artikel 2	-	https://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/2021-10-13#Hoofdstuk1_Paragraaf1.2
Drinkwaterbesluit artikel 21	-	https://wetten.overheid.nl/BWBR0026338/2021-10-13#HoofdstukIII_Paragraaf1_Artikel21
Drinkwaterbesluit artikel 31	-	https://wetten.overheid.nl/BWBR0026338/2021-10-13#HoofdstukIII_Paragraaf4_Artikel31
Drinkwaterbesluit Bijlage A	-	https://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/2021-10-13#BijlageA
Drinkwaterregeling artikel 3	-	https://wetten.overheid.nl/BWBR0030152/2021-10-07#Artikel3
I-QUA website	-	https://www.i-qua.eu/
Longlist	-	https://www.i-qua.eu/wp-content/uploads/2018/03/I-QUA-LONGLIST-BOOKLET.pdf
Sanimonitor	-	http://www.sanimonitor.nl/
Saniwijzer	-	https://www.saniwijzer.nl/projecten
Uitvoeringsbesluit	-	http://wetten.overheid.nl/BWBR0019031/2019-01-01#HoofdstukIII_Paragraaf1_Artikel5
Meststoffenwet artikel 5	-	https://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/2018-02-17#Hoofdstuk1_Paragraaf1_Artikel1.1
Waterwet artikel 1.1	-	https://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/2018-02-17#Hoofdstuk1_Paragraaf1_Artikel1.1
Wet Milieubeheer artikel 1	-	http://wetten.overheid.nl/BWBR0003245/2017-08-30#Hoofdstuk1
Wet Milieubeheer artikel 10.29a	-	http://wetten.overheid.nl/BWBR0003245/2017-08-30#Hoofdstuk10_Titeldeel10.5

Bijlage 1: MCA scores technologieselectie HVCH

Tabel 0-1. Scores van de verschillende technieken van de primaire zuiveringsstap, de weging en de uitslag per MCA-criteria voor de technologieselectie van de HVCH-pilot.

Techniek	Score			Weging	Uitslag		
	Urine opslag	Urine opslag met ozon	Struviet reactor		Urine opslag	Urine opslag met ozon	Struviet reactor
Investing	4	3	2	5	20	15	10
<i>Eenvoud/ complexiteit</i>	4	3	2	4	16	12	8
<i>Bedrijfsvoering</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Oppervlakte</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Energieverbruik</i>	5	4	3	3	15	12	9
<i>Milieubelasting (80% = energie en chemicaliën)</i>	3	4	4	4	9	12	12
Onderhoud	4	3	2	4	16	12	8
<i>Hoeveelheid slib</i>	4	4	3	1	16	16	12
<i>Bereikbaarheid</i>	4	4	3	3	12	12	9
Waterkwaliteit voor doel/ volgende zuiveringsstap	2	5	4	5	10	25	20
<i>Milieubelasting organische microverontreinigingen</i>	2	5	4	3	6	15	12
<i>Veiligheid omgeving</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Waterverlies</i>	4	4	4	3	12	12	12
Flexibiliteit	2	4	4	3	6	12	12
<i>Aanpasbaarheid</i>	2	2	4	4*	8	8	16
Robuustheid	5	4	3	4	20	16	12
<i>Invloed watertemperatuur</i>	4	4	3	3	12	12	9
<i>Invloed urinekwaliteit (verdunding)</i>	4	4	4	2	8	8	8
<i>Invloed waterkwaliteit (ZS en OS-concentraties)</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Beeldvorming	2	4	5	3	6	12	15
Totaal	55	61	54		192	211	184

* Volume/procesvoering

Tabel 0-2. Scores van de verschillende technieken van de secundaire zuiveringsstap, de weging en de uitslag per MCA-criteria voor de technologieselectie van de HVCH-pilot.

Techniek	Score			Weging		Uitslag	
	Helofyten-filter	MBR (UF)	Biorotor	Urine opslag	Urine opslag met ozon	Struviet reactor	
Investering	3	2	3	5	15	10	15
<i>Eenvoud/ complexiteit</i>	5	3	4	4	20	12	16
<i>Bedrijfsvoering</i>	4	2	2	4	16	8	8
<i>Oppervlakte</i>	2	4	4	3	6	12	12
<i>Energieverbruik</i>	4	1	3	3	12	3	9
<i>Milieubelasting (80% = energie en chemicaliën)</i>	3	5	4	3	9	15	12
Onderhoud	4	2	2	4	16	8	8
<i>Hoeveelheid slib</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Bereikbaarheid</i>	3	2	2	3	9	6	6
Waterkwaliteit voor doel/ volgende zuiveringsstap	3	4	3	5	15	20	15
<i>Milieubelasting organische microverontreinigingen</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Veiligheid omgeving</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Waterverlies</i>	5	4	5	3	15	12	15
Flexibiliteit	2	4	2	3	6	12	6
<i>Aanpasbaarheid</i>	2	4	3	3*	6	12	9
Robuustheid	4	2	4	4	16	8	16
<i>Invloed watertemperatuur</i>	2	4	3	3	6	12	9
<i>Invloed urinekwaliteit (verduunning)</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Invloed waterkwaliteit (ZS en OS-concentraties)</i>	3	4	3	3	9	12	9
Beeldvorming	4	3	3	3	12	9	9

* Bedrijfsvoering m.b.t. waterkwaliteit

Tabel 0-3. De scores van de verschillende technieken van de tertiaire zuiveringsstap, de weging en de uitslag per MCA-criteria voor de technologieselectie van de HVCH-pilot.

Techniek	Score			Weging		Uitslag	
	AK filtratie	Schors-filter	Desinfectie	AK filtratie	Schors-filter	Desinfectie	
Investing	2	4	3	4	8	16	12
<i>Eenvoud/ complexiteit</i>	3	4	2	4	12	16	8
<i>Bedrijfsvoering</i>	3	3	4	3	9	9	12
<i>Oppervlakte</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Energieverbruik</i>	4	5	2	3	12	15	6
<i>Milieubelasting (80% = energie en chemicaliën)</i>	3	5	4	3	9	15	12
Onderhoud	3	4	4	4	12	16	16
<i>Hoeveelheid slib</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Bereikbaarheid</i>	3	3	4	3	9	9	12
Waterkwaliteit voor doel/ volgende zuiveringsstap	5	4	4	5	25	20	20
<i>Milieubelasting organische microverontreinigingen</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Veiligheid omgeving</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Waterverlies</i>	2	5	5	3	6	15	15
Flexibiliteit	4	4	3	4	16	16	12
<i>Aanpasbaarheid</i>	3	3	4	4*	12	12	16
Robuustheid	4	4	2	4	16	16	8
<i>Invloed watertemperatuur</i>	4	4	4	3	12	12	12
<i>Invloed urinekwaliteit (verdunding)</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Invloed waterkwaliteit (ZS en OS-concentraties)</i>	5	3	2	3	15	9	6
Beeldvorming	3	3	4	3	9	9	12

* Verandering aan installatie

Bijlage 2: Uitgangspunten afvalwaterhoeveelheden HVCH

Uitgangspunten HVCH-pilot, berekend door UGent

UGent heeft in haar rapport *Short list Voetbalvereniging HVCH (Heesch)*, dd. 4 oktober 2017, de grootte en samenstelling van de afvalwaterstromen bij HVCH berekend. Dit is op basis van bezoekersaantallen, sanitaire kenmerken, kentallen en een analyse van watermonsters gedaan.

Het aantal personen per dag aanwezig bij HVCH is in het rapport van UGent gegeven (Tabel 0-1). De totstandkoming van deze gegevens (telling, berekening) en de gemaakte aannames zijn in het rapport niet nader toegelicht.

Tabel 0-1. Aantal personen aanwezig bij HVCH, per dag (bron: UGent).

	Ma	Di	Woe	Do	Vr	Za	Zo
Spelers	316	316	316	316	-	546	180
Trainers	50	50	50	50	-	84	20
Publiek	0	0	0	0	-	546	90
Scheidsrechters	0	0	0	0	-	42	20
Totaal	366	366	366	366	-	1218	310
Waarvan ook bezoek aan kantine	-	-	40	40	-	406	250

Op vrijdag is HVCH gesloten en zijn er geen, of zeer weinig, mensen aanwezig. HVCH heeft ook een kantine. Deze is naast de vrijdag ook gesloten op maandag en dinsdag.

Voor het berekenen van de hoeveelheid afvalwater is een aantal aannames gedaan en uitgangspunten gehanteerd. Deze staan in Tabel 0-2.

Op basis hiervan zijn door UGent de waterverbruiksgedaten berekend. De uitkomsten hiervan zijn in Tabel 0-3 weergegeven zoals ze door UGent zijn gerapporteerd.

Tabel 0-2. Aannames achter de berekeningen voor afvalwaterdebieten door UGent (bron: UGent).

	Eenheid	
Douche		
Spelers die douchen	%	50
Trainers die douchen	%	50
Scheidsrechters die douchen	%	0
Publiek die doucht	%	0
Duur douchebeurt	minuten	5
Kantine	l/bezoeker	2,5
Toilet		
Percentage van bezoekers dat naar toilet gaat voor urine	%	25
Aantal keer dat deze bezoekers gaan voor urine	Keer per persoon	1,5
Aantal bezoeken feces	%	10
Aantal keer dat deze bezoekers gaan voor feces	Keer per persoon	1
Aantal spoelingen		
Na urine: klein	%	25
Na urine: groot	%	0
Na feces: klein	%	0
Na feces: groot	%	100
Sanitair		
Douchekop	l/min	6,56
Toilet : kleine spoeling	l/spoeling	2,3
Toilet: grote spoeling	l/spoeling	6

Tabel 0-3. Berekende afvalwaterproductie bij HVCH (bron: UGent).

	Ma (m ³)	Di (m ³)	Woe (m ³)	Do (m ³)	Vr (m ³)	Za (m ³)	Zo (m ³)	Weektotaal (m ³)
Grijswater								
Douches	5,18	5,18	5,18	5,18	-	8,96	5,91*	35,60
Kantine	-	-	0,10	0,10	-	1,02	0,63	1,85
Zwartwater								
Urine	0,32	0,32	0,32	0,32	-	1,05	0,27	2,58
Feces	0,22	0,22	0,22	0,22	-	0,73	0,19	1,80
Totaal	5,72	5,72	5,82	5,82	-	11,73	6,99	41,81

* Als de methodiek voor het berekenen van het afvalwater van de douches wordt doorgevoerd voor zondag komt hier een ander getal uit dan in het rapport van UGent staat. Dit zou dan 2,95m³ zijn, waardoor het weektotaal 32,64m³ (douchewater) en 38,85m³ (gehele totaal) wordt.

Deze getallen zijn ook nagerekend. Hieruit bleek dat de afvalwaterstroom uit de douches voor zondag is gerapporteerd als 5,91m³, maar dat dit bij het narekenen waarschijnlijk 2,95m³ moet zijn. Het zou kunnen dat er

voor douchewater op zondag andere aannames zijn dan voor de andere weekdays, maar dit is niet in het rapport expliciet gemaakt. Het is dus niet aannemelijk dat er andere aannames zijn gemaakt, en dat er mogelijk een rekenfout is opgetreden. Als de rekenmethode van UGent doorgetrokken wordt naar zondag zal het weektotaal voor douchewater uitkomen op $32,64\text{m}^3$ en het weektotaal voor al het afvalwater van HVCH op $38,85\text{m}^3$.

Daarnaast bleek ook dat de gemaakte aanname dat 50% van de trainers doucht niet terug te zien is in het waterverbruik voor de douches. Deze is enkel voor 50% van de spelers.

Naar aanleiding van het verschil in volume douchewater op zondag, ontbreken van douchewater van de trainers en omdat er niet is gerekend met het waterloze urinoirs voor de inzameling van urine zijn de door UGent gehanteerde uitgangspunten en aannames vergeleken met de kentallen beschikbaar bij LeAF. Het doel hiervan was om te verifiëren dat de afvalwaterhoeveelheden, die gebruikt worden voor het ontwerpen van de technologieën, in orde van grootte kloppen.

Herberekening uitgangspunten HVCH

Er is een aantal uitgangspunten die niet geverifieerd konden worden. Deze zijn het aantal mensen aanwezig bij HVCH, het aantal spelers die een douche neemt, het aantal mensen bij de kantine en het waterverbruik van de kantine. De zijn dan ook overgenomen van UGent. Tabel 48 bevat de uitgangspunten waarmee de afvalwaterstromen bij HVCH opnieuw zijn berekend. In deze tabel zijn ook de aannames en bronnen gegeven.

Er is een aantal aanpassingen gedaan aan het aantal mensen dat een toilet bezoekt voor urine en feces. Dit is gedaan op basis van resultaten van uithuizigheidsonderzoeken en een inschatting. Er is ook een percentage toiletbezoeken toebedeeld aan de waterloze urinoirs. Daarnaast is het waterverbruik van de douchekoppen aangepast naar wat HVCH heeft opgegeven.

Niet alle uitgangspunten zijn even nauwkeuring en niet alle aannames konden worden geverifieerd. Het percentage toiletbezoeken voor urine is als redelijk nauwkeurig ingeschat, echter is het percentage toiletbezoeken voor feces lastiger in te schatten. De beschikbare onderzoeken over dit onderwerp zijn niet eenduidig. Daarnaast is het speelgedrag, dat wil zeggen wie wanneer de grote of de kleine spoeling gebruikt, onbekend. Hier zijn dus de uitgangspunten van UGent gehanteerd.

Met deze uitgangspunten is de afvalwaterproductie van HVCH opnieuw berekend (Tabel 0-5).

Een vergelijking tussen de oorspronkelijke berekende afvalwaterhoeveelheden (Tabel 0-3) en de opnieuw berekende afvalwatervolumes (Tabel 0-5) laat zien dat er na verandering van uitgangspunten circa 2m^3 minder afvalwater van de douches wordt geproduceerd. Hierbij is ervanuit gegaan dat het douchewatervolume in de tabel voor de zondag niet klopt maar dat de berekeningsmethodiek van de andere dagen doorgetrokken moet worden (anders is het verschil circa 5m^3).

Daartegenover is het opnieuw berekende zwartwater volume $8,4\text{m}^3$ meer. Dit is vooral omdat er vanuit is gegaan dat er meer mensen naar het spoeltoilet zullen gaan om te urineren en er $0,5\text{m}^3$ aan urine en feces bij op is geteld. Hierbij is ook circa $0,4\text{m}^3$ urine gekomen dat met de waterloze urinoirs wordt ingezameld. Het totaal berekende wekelijkse afvalwatervolume is met circa $4,5\text{m}^3$ toegenomen.

Tabel 48. Aannames achter de berekeningen voor afvalwaterdebieten door LEAF

	Enheid	Aannames, bronnen
Douche		
Spelers die douchen	%	UGent, grondslag hiërarcher niet bekend maar ook aannemelijk
Trainers die douchen	%	Aanname is dat trainers niet douchen
Scheidsrechters die douchen	%	Aanname is dat 50% van scheidsrechters na wedstrijden ook douchen
Publiek die doucht	%	UGent, zeer aannemelijk
Duur douchebeurt	minuten	UGent, zeer aannemelijk
Kantine		
Vaatwassers:	l/bezoeker	UGent, grondslag hiërarcher niet bekend maar ook aannemelijk
Gootstenen:	Aantal	Opgaaf HVCH, geen stoomoven aanwezig
	Aantal	Opgaaf HVCH, 2 in keuken en 2 in bar
Toilet		
Percentage van spelers dat naar toilet gaat voor urine	%	Aanname is dat iedereen voor het sporten/bewegen naar toilet gaat voor urine
Percentage van trainers dat naar toilet gaat voor urine	%	Aanname is dat iedereen voor het sporten/bewegen naar toilet gaat voor urine
Percentage van publiek dat naar toilet gaat voor urine	%	Aanname is dat men niet langer dan een dagdeel bij HVCH verblijft. % op basis van uithuizigheds-onderzoek.
Percentage van scheidsrechters dat naar toilet gaat voor urine	%	Aanname is dat iedereen voor het sporten/bewegen naar toilet gaat voor urine
Aantal keer dat deze bezoekers gaan voor urine	Keer per persoon	1,5
Percentage van toiletbezoekers voor urine die gebruik maakt van waterloos urinoir	%	50 De verdeling van spoeltoiletten/ waterloze urinoirs in de herenkleedkamers/toiletten is ongeveer 1:1
Percentage van spelers dat naar toilet gaat voor feces	%	10 UGent, uithuizigheds-onderzoeken geven 15% aan, dit is inclusief werk. Dus 10% is aannemelijk.
Percentage van trainers dat naar toilet gaat voor feces	%	10 UGent, uithuizigheds-onderzoeken geven 15% aan, dit is inclusief werk. Dus 10% is aannemelijk.
Percentage van publiek dat naar toilet gaat voor feces	%	5 Uithuizigheds-onderzoeken geven 15% aan, dit is inclusief werk. Publiek zal mogelijk korter blijven/ niet naar toilet willen gaan/ niet sporten.
Percentage van scheidsrechters dat naar toilet gaat voor feces	%	10 UGent, uithuizigheds-onderzoeken geven 15% aan, dit is inclusief werk. Dus 10% is aannemelijk.
Aantal keer dat deze bezoekers gaan voor feces	Keer per persoon	1 UGent, aannemelijk

	Einheid	Aannames, bronnen
Aantal spoelingen		
Na urine: klein	%	25 UGent
Na urine: groot	%	Als 25% van urinebezoeken spoelt met kleine knop, is overige grote knop
Na feces: klein	%	0 Niet gebruikelijk
Na feces: groot	%	100 Gebruikelijk
Sanitair		
Aantal douches	Aantal	76 Opgaaf HVCH
Douchekop	l/min	6 Opgaaf HVCH
Aantal spoeltolietten	Aantal	12 Opgaaf HVCH
Toilet : kleine spoeling	l/spoeling	2,3 UGent, aannemelijk
Toilet: grote spoeling	l/spoeling	6 UGent, bevestiging UGent
Aantal waterloze urinoirs	Aantal	8 Inschatting op basis van tekeningen gebouw
Aantal wastafels	Aantal	12 Opgaaf HVCH

Tabel 0-5. Berekende afvalwatervolumes op basis van uitgangspunten LeAF

	Ma (m ³)	Di (m ³)	Wo (m ³)	Do (m ³)	Vr (m ³)	Za (m ³)	Zo (m ³)	Week (m ³)
Grijswater	4,7	4,7	4,8	4,8	-	9,8	3,6	32,6
Douches inclusief wastafels en spoelbakken	4,7	4,7	4,7	4,7	-	8,8	3,0	30,8
Kantine	-	-	0,1	0,1	-	1,0	0,6	1,8
Zwartwater	1,5	1,5	1,5	1,5	-	3,3	1,0	10,3
Spoelwater feces	0,2	0,2	0,2	0,2	-	0,6	0,2	1,6
Spoelwater urine	1,2	1,2	1,2	1,2	-	2,6	0,8	8,2
Urine & feces	0,1	0,1	0,1	0,1	-	0,2	0,0	0,5
Urine van urinoirs	0,06	0,06	0,06	0,06	-	0,14	0,04	0,4
Totaal	6,3	6,3	6,4	6,4	-	13,3	4,7	43,3

Vanwege de verschillen in berekende afvalwatervolumes en de onzekerheden in de uitgangspunten is een vergelijking met de watermeterstanden van HVCH gemaakt (Tabel 0-6). Van deze waterverbruiksgegevens is de meest recente data als het representatiefst geacht. In september 2017 zijn namelijk de laatste kleedkamers ook in gebruik genomen. Het wekelijkse waterverbruik komt goed overeen met de opnieuw berekende afvalwater (respectievelijk 42m³ en 42,8m³).

Tabel 0-6. Waterverbruik bij HVCH op basis van meterstanden (bron: HVCH).

	m ³	m ³ per dag*	m ³ per week
maart 2016-maart 2017	1.799	5,8	35
maart 2017-maart 2018	1.677	5,4	32
maart 2018- oktober 2018	1.276	7,0	42

* Gecorrigeerd naar 6 dagen per week, want HVCH is op vrijdag gesloten

Geconcludeerd kan worden dat de door UGent oorspronkelijk berekende totale wekelijkse afvalwaterproductie goed overeenkwam met de waterverbruiksgedaten uit 2018 van HVCH. Echter is het niet duidelijk waarom er voor het douchewater van de zondag een ander getal is weergegeven dan volgens de uitgangspunten zou moeten. Als de uitgangspunten wel gehanteerd worden is de berekende afvalwaterproductie in vergelijking met het waterverbruik te laag.

Door de uitgangspunten en aannames opnieuw te evalueren en aan te vullen met gegevens van uithuizigheidsonderzoeken is een wekelijkse afvalwatervolume in dezelfde orde van grootte als het waterverbruik berekend. De exacte verdeling tussen afvalwater van de douches en de spoeltoiletten is echter anders. Deze is met de huidige gegevens, kentallen en onderzoeken ook niet nauwkeuriger te maken. Dit kan tijdens de pilot zelf wel gedaan worden door flowmeters te installeren.

Uitgangspunten woningen

Naast het afvalwater van HVCH is het ook mogelijk om het afvalwater van de woningen gelegen aan de Binnenweg in te zamelen om voor de pilot te gebruiken. Omdat het scheiden van afvalwaterstromen niet overal toepasbaar zal zijn kunnen technologieën op deze manier ook worden getest met gemengd huishoudelijk afvalwater.

Gedurende het aanlooptraject van het I-QUA project was de gedachte om het afvalwater van zes (niewbouw) woningen aan de Binnenweg te gebruiken. Echter bleek dat niet alle woningen bij aanvang van de pilot al gebouwd en was het qua riolering ook makkelijker om het afvalwater van vier woningen in te zamelen en naar de pilot te brengen.

De uitgangspunten van UGent voor het berekenen van de hoeveelheden afvalwater waren 3 personen per woning en een afvalwaterproductie van 120 liter per persoon per dag. Dit komt goed overeen met de kentallen bij LeAF. Tabel 0-7 bevat de het volume te verwachten gemengd huishoudelijk afvalwater van de vier woningen.

Tabel 0-7. Berekende huishoudelijk afvalwatervolumes van de vier woningen aan de Binnenweg

	Ma (m ³)	Di (m ³)	Wo (m ³)	Do (m ³)	Vr (m ³)	Za (m ³)	Zo (m ³)	Week (m ³)
Huishoudelijk afvalwater van 4 woningen	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	10,1

Afvalwaterpieken

Voor het ontwerp van de technologieën en rioolssystemen is de piekbelasting ook van belang. Het afvalwater zal immers nooit egaal verspreid over de gehele dag geproduceerd worden. De grijswater- en zwartwaterpieken zijn berekend door het aantal sanitaire voorzieningen (douches, spoeltoiletten; uit Tabel 48) te vermenigvuldigen met het waterverbruik hiervan (Tabel 0-8).

De piek in urine is berekend door het aantal waterloze urinoirs te vermenigvuldigen met de gemiddelde hoeveelheid urine van één plasbeurt (200ml), geproduceerd in circa 10 seconden.

Het piekdebiet van de woningen is gebaseerd op de afvalwaterpiek per ie zoals beschreven in Leidraad Riolering D2100.

De zwartwaterpiek en piek in huishoudelijk afvalwater zijn opgeteld omdat deze twee stromen ook samen met één technologie behandeld kunnen worden.

Voor de afvoerleiding van de pilot is ook berekend wat de maximale piek voor de gecombineerde afvalwaterstromen zou kunnen zijn. Hierbij is afvlakking van pieken door de buffer in de zuiveringstechnologieën niet meegenomen. Bij navraag is ook gebleken dat HVCH een Qn10 watermeter heeft en de maximale aanvoer van water 20m³/uur is. Het is dus niet de verwachting dat de berekende afvalwaterpiek ook daadwerkelijk zo groot zal zijn.

Tabel 0-8. Berekende afvalwater pieken.

			Bron
Grijswater van douches			
	l/min	456	Berekening
	l/sec	7,6	Berekening
Zwartwater			
	l/min	72	Berekening
	l/sec	1.2	Berekening
Urine			
	l/min	9,6	Berekening op basis van inschatting; 1 plasbeurt (200 ml) met duur van 10 sec
	l/sec	0,16	Berekening
Afvalwater van vier woningen			
	l/ie/u	15,3	D2100
	l/min	9,2	Berekening
	l/sec	0,15	Berekening
Totaal huishoudelijk afvalwater en zwartwater			
	l/sec	1,4	Berekening
	l/min	17,4	Berekening
	m ³ /u	1	Berekening
Totaal pilot			
	l/sec	9,1	Berekening
	l/min	547	Berekening
	m ³ /u	32,8	Berekening
	m ³ /u	20	Watermetertype: Qn10

Bijlage 3: MCA scores technologieselectie Carwash Gilze-Rijen

Tabel 0-1. Scores van de verschillende technieken van de primaire zuiveringsstap, de weging en de uitslag per MCA-criteria voor de technologieselectie van de Carwash-pilot.

Techniek	Score		Weging	Uitslag	
	Buffer met bezinker	Buffer met hydrocycloon		Buffer met bezinker	Buffer met hydrocycloon
Investing	4	3	5	20	15
<i>Eenvoud/ complexiteit</i>	4	2	4	16	8
<i>Bedrijfsvoering</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Vereenvoudiging mogelijk (dosering weglaten)</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Energieverbruik</i>	4	3	3	12	9
<i>Milieubelasting (80% = energie en chemicaliën)</i>	4	3	3	12	9
Onderhoud	4	3	4	16	12
<i>Hoeveelheid slib</i>	4	4	4	16	16
<i>Bereikbaarheid</i>	4	3	5	12	9
Waterkwaliteit	4	3	3	16	12
<i>Vlokvorming in system bij dosering</i>	3	4	4	9	12
<i>Vlokafbraak momenten</i>	4	2	3	12	6
<i>Risico gerosolen</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Veiligheid omgeving</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Hydraulica (VTS, stagnante ones)</i>	3	3	3	9	9
<i>Waterverlies</i>	4	2	3	12	6
Flexibiliteit	4	3	3	12	9
<i>Aanpasbaarheid (vergroten/verkleinen doorlaten)</i>	3	2	1	12	8
<i>Vlokvorming aanpassen zomer/winter</i>	3	2	3	6	4
Robuustheid	4	3	4	16	12
<i>Invloed watertemperatuur</i>	3	3	2	9	9
<i>Invloed waterkwaliteit (ZS en OS-concentraties)</i>	3	3	4	9	9
<i>Invloed eventueel ander vlokmiddel opvangen</i>	3	2	3	9	6
Totaal	69	53		235	180

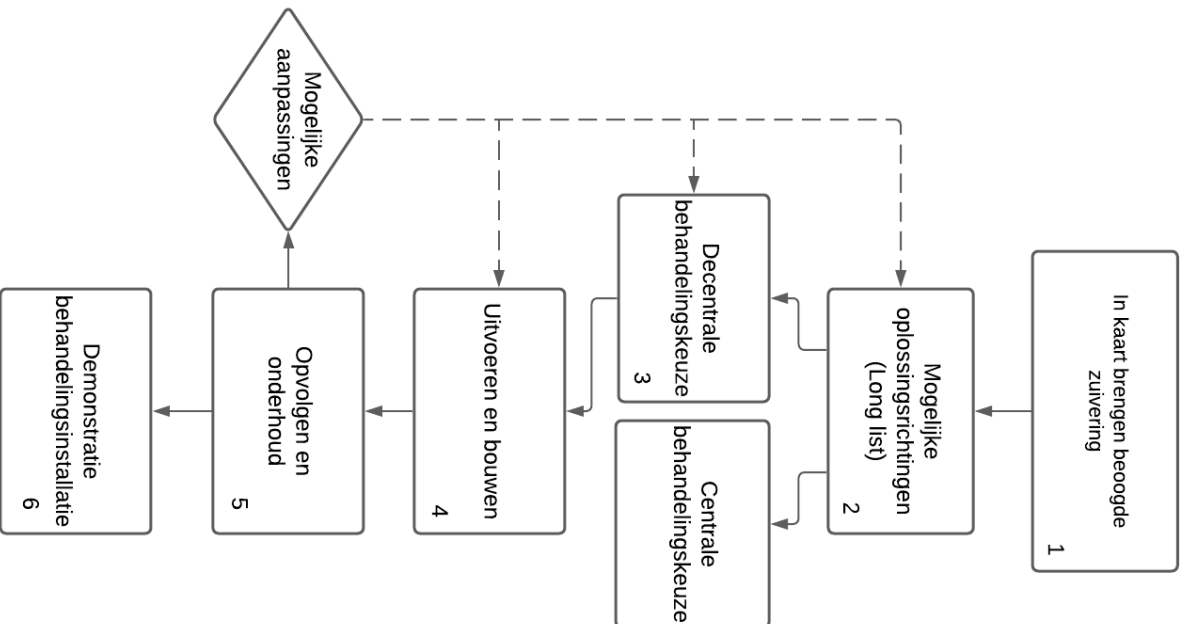
Tabel 0-2. De scores van de verschillende technieken van de secundaire zuiveringsstap, de weging en de uitslag per MCA-criteria voor de technologieselectie van de Carwash-pilot.

Techniek	Score			Weging		Uitslag	
	Coagulatie met zandfilter	Elektrocoagulatie met flotatie	Aktief kool	Coagulatie met zandfilter	Elektrocoagulatie met flotatie	Aktief kool	
Investing	3	2	3	5	15	10	15
<i>Eenvoud/ complexiteit</i>	3	1	4	4	12	4	16
<i>Bedrijfsvoering</i>	3	1	2	3	9	3	6
<i>Vereenvoudiging mogelijk (dosering weglaten)</i>	4	0	0	1	4	0	0
<i>Energieverbruik</i>	4	2	3	3	12	6	9
<i>Milieubelasting (80% = energie en chemicaliën)</i>	3	2	2	4	12	8	8
Onderhoud	4	2	3	4	16	8	12
<i>Hoeveelheid slib</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Bereikbaarheid</i>	3	2	3	3	9	6	9
Waterkwaliteit	3	2	4	4	12	8	16
<i>Vlokvorming in system bij dosering</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Vlokaafbraak momenten</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Risico gerosolen</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Veiligheid omgeving</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Hydraulica (VTS, stagnante ones)</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Waterverlies</i>	3	1	4	3	9	3	12
Flexibiliteit	2	4	2	3	6	12	6
<i>Aanpasbaarheid (vergroten/verkleinen doorlaten)</i>	2	3	2	4	8	12	8
<i>Vlokvorming aanpassen zomer/winter</i>	2	4	2	2	4	8	4
Robuustheid	4	2	4	4	16	8	16
<i>Invloed watertemperatuur</i>	3	3	3	3	9	9	9
<i>Invloed waterkwaliteit (ZS en OS-concentraties_</i>	3	2	3	3	9	6	9
<i>Invloed eventueel ander vlokmiddel opvangen</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Totaal	49	33	44		162	111	155

Tabel 0-3. De scores van de verschillende technieken van de tertiaire zuiveringsstap, de weging en de uitslag per MCA-criteria voor de technologieselectie van de Carwash-pilot.

Techniek	UF/RO	Score		Weging		Uitslag	
		Ozon	UV	UF/RO	Ozon	UV	
Investing	3	3	5	4	12	12	20
<i>Eenvoud/ complexiteit</i>	3	4	5	4	12	16	20
<i>Bedrijfsvoering</i>	3	3	4	3	9	9	12
<i>Vereenvoudiging mogelijk (dosering weglaten)</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Energieverbruik</i>	2	2	3	3	6	6	9
<i>Milieubelasting (80% = energie en chemicaliën)</i>	3	3	2	3	9	9	6
Onderhoud	3	4	4	4	12	16	16
<i>Hoeveelheid slib</i>				-	0	0	0
<i>Bereikbaarheid</i>	3	4	4	3	9	12	12
Waterkwaliteit	5	1	1	5	25	5	5
<i>Vlokvorming in system bij dosering</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Vlokafbraak momenten</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Risico gerosolen</i>	5	2	0	5	25	10	0
<i>Veiligheid omgeving</i>	3	2	4	3	9	6	12
<i>Hydraulica (VTS, stagnante ones)</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Waterverlies</i>	2	5	5	3	6	15	15
Flexibiliteit	4	2	2	4	16	8	8
<i>Aanpasbaarheid (vergroten/verkleinen doorlaten)</i>	4	3	3	4	16	12	12
<i>Vlokvorming aanpassen zomer/winter</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Robuustheid	4	3	4	4	16	12	16
<i>Invloed watertemperatuur</i>	4	4	4	3	12	12	12
<i>Invloed waterkwaliteit (ZS en OS-concentraties_</i>	5	3	2	3	15	9	6
<i>Invloed eventueel ander vlokmiddel opvangen</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Totaal	56	48	52		209	169	181

Bijlage 4: Uitgebreid Stappenplan



Figuur 0-1. Uitgebreid Stappenplan afwegingskader I-QUA.

Gegevens verzamelen **karakteristieken van de afvalwaterstroom en de verwachte zuiveringsgraad:**

- Afvalwaterkarakteristieken
- Verwachte waterkwaliteit na behandeling
- Voorwaarden eigenschappen van de installatie/technologie

Focus: Kijken naar **mogelijkheid waterhergebruik en grondstoffenrecuperatie**

Afweging tussen lokale waterzuiveringsconcepten en centrale waterzuivering, rekening houdende met **kostprijs en duurzaamheid**

De selectie van de best geschikte oplossingen/technologieën **onderling vergelijken:**

Uitvoeren van een Multicriteria analyse: Hierbij wordt per technologie punten gegeven in verschillende categorieën, zoals investeringskost, onderhoud/bediening, waterkwaliteit voor doel, flexibiliteit, robuustheid en beeldvorming, etc.

Aanvragen van eventuele **goedkeuringen/(bouw)vergunningen**

Zoeken naar een **geschikte technologieleverancier** (lokaal en buitenland)

- Leveranciers kijken prijs-kwaliteit, service en CE gekeurd
- Procedure moet voldoen aan de geldende wetten op overheidsopdrachten

Voorbereiding implementatie: afmetingen, veiligheid, connectie, waterrecuperatie, etc

Effectieve **inplanting** waterzuiveringsinstallatie

Innovatieve technologieën en streng geldende normen = **uitgebreide meetcampagnes**

Indien uit de analyses blijkt dat de installatie **niet volgens de verwachtingen** voldoet, dienen hierop doorzichte aanpassingen gedaan te worden:

- **Kleine aanpassingen** (debiet verlagen, ander substraat, etc.) = Terugkoppelen stap 3 of 4
- **Grotere aanpassingen** (extra zuiveringsstap toevoegen, etc.) = Terugkoppelen stap 2 of 3

Demonstratie aan **alle stakeholders** (o.a. burgemeester, schepenen, omwonenden, pers, etc.)

Kan gelinkt worden aan een **positieve publiciteit:**

- Plaatsen van een infobord
- Organiseren van een infomoment met eventueel de aanwezigheid van de (regionale) pers.

**Regionale
bijdrage** aan
een stapsgewijze
oplossing van **een**
wereld probleem

I-QUA

<https://www.i-qua.eu>

Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling