



BIO-ACCELERATOR

WATERBALANS EN
MAATREGELEN TEGEN VERDUNDE
LOZING

Contents

1	INLEIDING.....	1
2	WATERBALANS.....	1
2.1	Huidige situatie	1
2.2	Evaluatie waterbalans.....	3
2.2.1	Berekeningen en assumpties	4
2.2.2	High level waterbalans.....	6
2.2.3	Balans onthard water 0°F	7
2.2.3.1	Balans onthard water 0°F 3 Noord.....	7
2.2.3.2	Balans RO water 3 Noord	8
2.2.3.3	Balans onthard water 0°F 3 Zuid.....	9
2.2.4	Opvolging watermeters	10
3	MAATREGELEN TEGEN VERDUNDE LOZING	11
3.1	Lokale recirculatie.....	15
3.1.1	Water voor vacuümpompen autoclaven.....	15
3.1.2	Water voor vacuümpompen + condenswater autoclaven	15
3.2	Afkoppeling stromen naar RWA.....	16
3.2.1	Water voor vacuümpompen + condenswater autoclaven	16
3.2.2	RO concentraten	16
3.2.3	Spui stoomketels	17
3.2.4	Regeneratiewater ontharders	18
4	BEDRIJFSAFVALWATERHERGEBRUIK	19
4.1	Kwaliteit	19
4.2	Vraag en aanbod.....	20
4.3	Zuiveringstechnologie	20
4.3.1	Biologische zuivering.....	20
4.3.1.1	Sequencing batch reactor.....	21
4.3.1.2	Membraanbioreactor.....	22
4.3.1.3	Helofytenfilter.....	24
4.3.1.4	Vergelijking technologieën	27
4.3.2	Zuivering tot drinkwaterkwaliteit.....	29
4.4	Controleprogramma op maat	32

4.5	Praktisch	32
4.6	Economische analyse	34
5	CONCLUSIE	35

Lijst met Figuren

Figuur 1: Schema van een SBR voor biologische zuivering van afvalwater met stikstofverwijdering.	22
Figuur 2: Schema van een membraanbioreactor. Links: extern systeem. Rechts: ondergedompeld systeem.	23
Figuur 3: Voorstelling van de twee types setups voor membraansystemen: het cross-flow (links) en dead-end (rechts) principe.	23
Figuur 4: Links boven: vlakke-plaat membranen. Rechts boven: holle vezel membranen. Onder: tubulaire membranen.	24
Figuur 5: Schema van een open water helofytenfilter.	25
Figuur 6: Schema van een ondergrondse verticaal doorstroomde helofytenfilter.	25
Figuur 7: Schema van een beluchte helofytenfilter van Rietland.	26
Figuur 8: Radardiagram waarin de drie technologieën vergeleken worden op vlak van investeringskost, operationele kost, ruimte inname en eindkwaliteit. Een score van 1 tot 5 werd telkens toegekend; hoe hoger de score, hoe beter.	27
Figuur 9: PFD van de zuiveringstrein voor bedrijfsafvalwaterhergebruik. Biologische zuivering (hier beluchte helofytenfilter afgebeeld, maar kan ook een SBR of MBR zijn), gevolgd door grof- en fijnfilter (kan ook zandfilter zijn, of indien nodig UF) en RO.	31
Figuur 10: Benodigde infrastructuurwerken voor bedrijfsafvalwaterhergebruik. Het bedrijfsafvalwater wordt opgevangen in een influentput (rode cirkel), met een overloop naar de venturi (rode rechthoek). Van daaruit wordt het afvalwater naar de biologische zuivering gepompt (hier een beluchte helofytenfilter, groene rechthoek). Het gezuiverde afvalwater wordt opgevangen in een effluentput (blauwe cirkel), van waaruit het gepompt wordt naar de hergebruiksinstallatie (blauwe rechthoek). Het RO concentraat (magenta pijl) kan aangesloten worden op de bestaande RWA afvoer van het groendak. Het RO permeaat wordt opgevangen in een buffertank (blauwe cirkel), van waaruit ingetakt wordt op het bestaande circuit van onthard water 0°F.	33
Figuur 11: Weergave van de investeringskost, operationele kost en besparing in euro per jaar, en de cumulatieve winst/verlies over de jaren heen voor het scenario van bedrijfsafvalwaterhergebruik. Een inflatie van 2% werd verondersteld en CAPEX werd afgeschreven over 10 jaar.	35

Lijst met Tabellen

Tabel 1: Overzicht van de aanwezige watermeters in Bio-accelerator 1.....	4
Tabel 2: High level waterbalans, exclusief sanitair en kitchenettes. Zwart: gemeten stroom. Groen: berekening. Oranje-roze: assumptie. Er werden 10 % verliezen verondersteld. Er is geen rekening gehouden met het aandeel water in de stromen voor externe verwerking.	6
Tabel 3: Balans onthard water 0°F. Zwart: gemeten stroom. Groen: berekening.	7
Tabel 4: Gemeten BOD waarden in de venturi van Bio-accelerator 1 in 2024. Rood: verdunde lozing (BOD < 100 mg L ⁻¹).	11
Tabel 5: Overzicht mogelijke maatregelen om de verdunde lozing tegen te gaan. Per maatregel wordt de impact op de lozing weergegeven (zowel qua debiet als BOD concentratie), het waterbesparingspotentieel indien van toepassing, aandachtspunten en de economische haalbaarheid.	13
Tabel 6: Weergave gemiddelde kwaliteit stadswater (SW) van Farys in 1 ^e semester 2024 (enkel parameters boven de detectielimiet), op basis waarvan de kwaliteit van RO concentraat is berekend, rekening houdend met een worst case recovery van 75 %. In de laatste kolom staat het indelingscriterium (IC) weergegeven. Voor parameters waarbij het IC overschreden wordt (rood) of die zeer dichtbij het IC liggen (oranje), dient een lozingsnorm aangevraagd worden.....	17
Tabel 7: Kwaliteit van het afvalwater, gemeten gedurende 5 dagen in oktober 2022. Van de parameters T, pH en BOD zijn er tevens 5 metingen beschikbaar van juli t.e.m. september 2024. Daarnaast zijn tevens de sectorale lozingsnormen en het indelingscriterium weergegeven.	19
Tabel 8: Voor- en nadelen onbeluchte en beluchte helofytenfilter.....	26
Tabel 9: Vergelijkende tabel met voor- en nadelen van de drie besproken technologieën voor biologische zuivering van afvalwater.	28
Tabel 10: Overzicht CAPEX kosten voor de infrastructuurwerken en zuiveringsinstallatie van het scenario van bedrijfsafvalwaterhergebruik (excl. openbreken/ heraanleggen van wegenis).	34
Tabel 11: Overzicht totale CAPEX (infrastructuur + zuivering) en OPEX van de zuiveringsinstallatie in het scenario van bedrijfsafvalwaterhergebruik, alsook de kostenbesparing. De OPEX is exclusief de kost voor analyses voor opvolging van de kwaliteit van het geproduceerde hergebruikwater.....	34

1 INLEIDING

Op campus Ardoyen van Universiteit Gent wordt verdund afvalwater geloosd in de openbare riolering. In een vorige studie werd de bestaande toestand (zowel kwantitatief als kwalitatief) van de waterstromen op campus Ardoyen in kaart gebracht, om zo de verdunnende waterstromen te identificeren. Hieruit kon geconcludeerd worden dat o.a. Bio-accelerator 1 een grote bijdrage had aan de verdunde lozing.

In deze studie wordt de waterbalans van Bio-accelerator 1 gedetailleerder in kaart gebracht en worden waterbesparende maatregelen voorgesteld, met als doel om minder afvalwater te lozen in de riolering, zodat de afvalwaterstroom minder verdund wordt.

2 WATERBALANS

2.1 Huidige situatie

Bio-accelerator 1 huisvest Sanofi, die R&D in lifesciences doet. Het waterverbruik binnen Sanofi zit dus vooral in labotoepassingen. Sanofi beschikt over 3 grote fermentoren (100, 300 en 400 L), 30 L fermentoren en ook nog kleine bioreactoren (2 / 5 L). Voor sterilisatie van materiaal zijn er 5 autoclaven aanwezig (2 oudere Fedegari autoclaven en 3 nieuwere elektrische autoclaven). Om materiaal te reinigen, zijn er in totaal 6 vaatwassers.

Het inkomende stadswater in Bio-accelerator 1 wordt eerst onthard, deels tot 15°F (kleinste deel) en deels tot 0°F (grootste deel). Het onthard water 15°F wordt ingezet in de kitchenettes en de lavabo's in de sanitaire blokken, alsook als voeding voor de reverse osmosis (RO) installatie op -1 (zie verder). Voor toiletspoeling wordt regenwater ingezet. Het onthard water 0°F wordt aangewend in alle labo's, die zich op elk van de 4 verdiepen, in de Noord en Zuid vleugel van het gebouw, bevinden.

Ook zijn er 2 RO-installaties te vinden in het gebouw: een nieuwere installatie (van 2021) in de parking op -1, en een oudere installatie (van 2010) op 3 Noord.

De **nieuwere RO-installatie** op -1 heeft tevens voorgeschakelde ontharders, een nageschakelde electrodeionization (EDI) installatie en ultrafiltratie (UF) installatie om 'highly purified water' (HPW) te produceren. De RO wordt gevoed met onthard water 15°F, en het HPW wordt ingezet voor de volgende toepassingen:

- 💧 Voeding stoomgenerator op -1, die stoom voedt aan de fermentoren van 100 L en 400 L (0 Zuid) voor sterilisatie en temperatuurregeling.
- 💧 Labokranen op 0 Zuid
- 💧 Elektrische autoclaaf (voor interne stoomproductie)

De **oudere RO installatie** op 3 Noord wordt gevoed met onthard water 0°F, en het RO-water wordt ingezet voor de volgende toepassingen:

- 💧 Labokranen 3 Noord, 1 Zuid en 3 Zuid
- 💧 5 vaatwassers 3 Noord
- 💧 1 Milli-Q installatie 3 Noord
- 💧 2 elektrische autoclaven 3 Zuid (voor interne stoomproductie)
- 💧 Koelers kleine bioreactoren (handmatige bijvulling wanneer niveau gezakt is)

Het HPW en RO-water worden allebei rondgecirculeerd in een kring.

De **100 L en 400 L fermentoren** op 0 Zuid krijgen stoom van de stoomgenerator op -1 voor sterilisatie en temperatuurregeling. Condensaten worden afgevoerd in de riolering. Tevens zijn de fermentoren aangesloten op de koeler op -1 (gesloten circuit), en hebben ze een aansluiting op onthard water 0°F voor reiniging van de fermentoren en voor het vullen van de dubbele mantel.

De **300 L fermentor** heeft geen eigen wateraansluitingen. Wel heeft deze fermentor een externe koeler (gesloten circuit), die handmatig bijgevuld wordt met onthard water 0°F wanneer het niveau gezakt is.

De **30 L fermentoren** op 3 Zuid krijgen stoom van een externe stoomgenerator, die op zijn beurt handmatig aangevuld wordt met onthard water 0°F wanneer het niveau gezakt is. De condensaten worden afgevoerd naar de riolering. Tevens hebben de fermentoren een aansluiting op onthard water 0°F voor reiniging en voor het vullen van de dubbele mantel. Ook zij hebben een externe koeler (gesloten circuit), die handmatig aangevuld wordt met onthard water 0°F wanneer het niveau gezakt is.

De **elektrische autoclaaf** op 0 Zuid (S1006-E1 van Matachana) heeft een aansluiting op HPW voor de interne productie van stoom, en een aansluiting op onthard water 0°F voor aanvoer van water naar de vacuümpomp en de koeling van de condensaten.

De **2 elektrische autoclaven** op 3 Zuid (PLC-TR-1200 van Lancer en S1006-E1 van Matachana) hebben een aansluiting op RO-water van 3 Noord voor de interne productie van stoom, en een aansluiting op onthard water 0°F voor aanvoer van water naar de vacuümpomp en de koeling van de condensaten.

De **2 oudere autoclaven** (FOF2/A van Fedegari) krijgen stoom van de stoomgenerator op +5, die op zijn beurt gevoed wordt met onthard water 0°F. Tevens hebben deze autoclaven een aansluiting op onthard water 0°F voor aanvoer van water naar de vacuümpomp en de koeling van de condensaten.

Overal waar er labo's zijn, bevinden zich handwassers en nooddouches (op onthard water 0°F).

Vaak bevinden zich kleine Milli-Q installaties in de labo's, die meestal gevoed worden met onthard water 0°F, om puur en/of ultrapuur water te produceren.

Om de vochtigheid in de incubatoren op peil te houden, wordt ofwel RO-water, ofwel (ultra)puur water ingezet in een bidonnetje of pan in de incubator zelf.

Ijsmachines worden gebruikt wanneer iets koel dient getransporteerd worden, maar dit wordt niet vaak toegepast.

In de technische ruimte op +5 bevinden zich stoombevochtigers voor alle kantoren en labo's. Deze worden vooral in de winter gebruikt, wanneer de luchtvochtigheid laag is. Ook bevinden zich koelers op +5, die dan weer instaan voor de koeling van de kantoren en de labo's. Deze worden allemaal gevoed met onthard water 0°F.

Het bedrijfsafvalwater (BAW) wordt afzonderlijk van het huishoudelijk afvalwater van sanitair en kitchenettes geloosd in de venturi.

Chemische en biologische afvalstromen afkomstig van de labo's worden apart ingezameld en afgevoerd voor externe verwerking. Grotere hoeveelheden biologisch afval gaan naar de 'kill tank' voor chemische decontaminatie, waarna het tevens geloosd wordt in de venturi.

2.2 Evaluatie waterbalans

Op basis van aangeleverde data van Bio-accelerator en Sanofi, alsook een plaatsbezoek, werd de waterbalans van Bio-accelerator 1 opgemaakt, te vinden in de Excel '*20241008_Bio-accelerator_30000268_Waterbalans.xlsx*'. Voor de toekomstige waterverbuiken kunnen Bio-accelerator en Sanofi de waterbalans zelf aanpassen: in het tabblad 'Watermeterstanden' van het Excel document kunnen de maandelijkse meterstanden ingevuld worden, en dan past de waterbalans zich automatisch aan op basis van de ingevulde waarden. Zo kunnen Bio-accelerator en Sanofi op elk moment de waterbalans opvolgen en eventuele problemen of lekken opmerken. In **Tabel 1** is een overzicht te zien van alle watermeters die aanwezig zijn in Bio-accelerator 1 met hun naam (die ook vermeld staat in de waterbalans) en beschrijving.

Tabel 1: Overzicht van de aanwezige watermeters in Bio-accelerator 1.

Naam	Beschrijving
TR rooms -1	Onthard water 15°F naar RO -1
0 Noord	Onthard water 0°F naar 0 Noord
0 Zuid	Onthard water 0°F naar 0 Zuid
1 Noord	Onthard water 0°F naar 1 Noord
1 Zuid	Onthard water 0°F naar 1 Zuid
2 Noord	Onthard water 0°F naar 2 Noord
2 Zuid	Onthard water 0°F naar 2 Zuid
3 Noord	Onthard water 0°F naar 3 Noord
3 Zuid	Onthard water 0°F naar 3 Zuid
4 Noord	Onthard water 0°F naar 4 Noord
4 Zuid	Onthard water 0°F naar 4 Zuid
N Stoomketel (schuin links)	Voeding onthard water 0°F naar stoomketel 5 Noord
Hoofdteller verzacht water (10-1016800)	Voeding hard stadswater naar ontharders 0°F
Hoofdteller verzacht water (vertrek labo's)	Onthard water 0°F net na ontharders 0°F
Hoofdteller stadswater (10-600822) (aan plafond links) (via Smartvatten)	Teller op hard stadswater ná aftakking naar ontharders 0°F. Telt o.a. voeding naar waterontharder 15°F.
Regenwatergroep/wc (bijvulling met stadswater) nieuwe meter 21420125	Bijvulling stadswater voor toiletten.
Teller regenwater (grote blauwe teller rechts - nr. 11620818)	Regenwater voor toiletten.
Stoombevochtiger 5 Noord	Onthard water 0°F naar stoombevochtiger Noord
Stoombevochtiger 5 Zuid	Onthard water 0°F naar stoombevochtiger Zuid

2.2.1 Berekeningen en assumpties

Het is belangrijk te vermelden dat de balans zich baseert op aangeleverde data en, daarop berustende, berekeningen. Soms moesten echter assumpties gemaakt worden bij gebrek aan data.

Voor volgende zaken werd een **berekening of assumptie** gemaakt in de waterbalans:

- Het spoelverlies van de ontharders 0°F werd berekend door de tellers van de voeding en het geproduceerde onthard water van elkaar af te trekken. Het berekende spoelverlies bedraagt 6%, wat normaal is.
- Voor de ontharder 15°F en de ontharder voor de RO op -1 werd hetzelfde percentage spoelverlies verondersteld als de ontharders 0°F (6%).
- Voor de RO op -1 kon een gemiddelde recovery van 73,2% berekend worden uit de opnamebladen.
- Voor de EDI op -1 kon een gemiddelde recovery van 84% berekend worden uit de opnamebladen.

- 💧 Voor de RO op 3 Noord kon een recovery van 71,6% berekend worden uit de specificaties van de installatie. Ook staat in de specificaties dat de RO een capaciteit heeft van 300 L h⁻¹ RO permeaat. Voor de berekening van de jaarlijkse waterstromen naar en van de RO, werd uitgegaan van 10 uren per dag productie, en 250 dagen per jaar productie.
- 💧 Enkel van de elektrische autoclaaf van Matachana is er een handleiding voorhanden waarin de verbruiken per cyclus staan:
 - Stoom: 20 kg per cyclus
 - Water voor de vacuümpompen: 240 L per cyclus
 - Water voor koeling condensaten: debiet = 1,7 m³ h⁻¹. Er werd verondersteld dat er gedurende 10 minuten gekoeld wordt, wat een verbruik van 283 L per cyclus geeft.
- 💧 Voor de andere elektrische autoclaven werden dezelfde verbruiken per cyclus verondersteld, bij gebrek aan data.
- 💧 Voor de oude Fedegari autoclaven werd 5 x de verbruiken van de elektrische autoclaaf verondersteld.
- 💧 Het aantal cycli van de autoclaven werd inschat door werknemers van Sanofi:
 - Autoclaaf op 0 Zuid: wordt weinig gebruikt, enkel als er een large scale run is, dan draait de autoclaaf ongeveer 3 keer per run. Er werd verondersteld dat er 5 large scale runs draaien per jaar, dus dat de autoclaaf 15 keer draait op een jaar.
 - 2 autoclaven op 3 Zuid: ± 4 x per week (beiden samen).
 - 2 Fedegari autoclaven op 3 Noord: de ene 1 cyclus per dag, de andere 2 cycli per dag.
- 💧 Verbruik vaatwassers (3 keer de 1300 LX van Lancer, 2 keer de 910 LX van Lancer, en 1 keer de LAB 600 D van Steelco):
 - De 1300 LX verbruikt 15 L per cyclus
 - De 910 LX verbruikt 13 L per cyclus
 - Voor de vaatwasser van Steelco werd tevens 13 L per cyclus verondersteld, bij gebrek aan data.
- 💧 Het aantal cycli van de vaatwassers werd inschat door werknemers van Sanofi:
 - De Lancer vaatwassers op 3 Noord: elk ± 5 cycli per dag
 - De Steelco vaatwasser op 1 Zuid: ± 3 cycli per dag
- 💧 De stoomketel op +5 wordt zowel op tijd als op conductiviteit gespuid. De setpoint van

conductiviteit voor de spui staat ingesteld op $5.000 \mu\text{S cm}^{-1}$ (info onderhoudsfirma). A.d.h.v. de berekende conductiviteit van het voedingswater en het debiet van het voedingswater, kon de spui berekend worden (weliswaar is dit een onderschatting, gezien de spui op tijd niet geweten is).

- 💧 De stoomketel op -1 wordt o.b.v. druk gespuid (info van Sanofi). De spuihoeveelheid kon dus niet bepaald worden.
- 💧 Voor het verbruik van de stoombevochtigers op +5 werd een theoretische berekening gedaan o.b.v. volumes te bevochtigen lucht en assumpties over de actuele en gewenste luchtvochtigheid. Stoombevochtigers verbruiken typisch slechts weinig water. Op het moment van het plaatsbezoek en 10 werkdagen erna werden de watermeterstanden voor de stoombevochtigers genoteerd. De stoombevochtiger op 5 Zuid had op 10 dagen tijd $7,6 \text{ m}^3$ water verbruikt, en die op 5 Noord slechts $0,782 \text{ m}^3$. Dit komt neer op een waterverbruik van resp. $760,2 \text{ L d}^{-1}$ en $78,2 \text{ L d}^{-1}$. Die op Zuid verbruikt dus bijna 10 x zo veel als die op Noord. Die op Noord verbruikt veel meer en die op Zuid verbruikt minder dan het theoretisch berekend verbruik van 150 L d^{-1} per stoombevochtiger.

2.2.2 High level waterbalans

De high level waterbalans (IN en UIT) kan niet opgemaakt worden, gezien het geloosde bedrijfsafvalwater niet gemeten wordt. Echter werd wel berekend hoeveel bedrijfsafvalwater geloosd wordt (zie **Tabel 2**), door 10 % verliezen te veronderstellen en het chemisch en biologisch afvalwater dat extern verwerkt wordt, in rekening te brengen (dit wordt gemeten). Opgelet, er is hier geen rekening gehouden met het aandeel water in de stromen voor externe verwerking (bevatten tevens chemicaliën of biologisch afval van de labo's).

Tabel 2: High level waterbalans, exclusief sanitair en kitchenettes. **Zwart:** gemeten stroom. **Groen:** berekening. **Oranje-roze:** assumptie. Er werden 10 % verliezen verondersteld. Er is geen rekening gehouden met het aandeel water in de stromen voor externe verwerking.

Stroom	Waterverbruik ($\text{m}^3 \text{ jaar}^{-1}$)
Inkomend stadswater	8.905
Uitgaande stromen	
Venturi (geloosd BAW)	8.010
Verliezen (verdamping)	891
Externe verwerking	4,4

2.2.3 Balans onthard water 0°F

Wel kan de waterbalans van het onthard water 0°F gemaakt worden, wat het grootste deel van het waterverbruik inneemt (**Tabel 3**). Er is te zien dat er een verschil is tussen het totaal geproduceerd onthard water 0°F en de som van de verbruiken van 1.623 m³ jaar⁻¹, of 20%. Wat niet meegeteld is in de som van de verbruiken, zijn de bijvullingen van koelwater op -1 en +5. Dit zijn echter gesloten circuits en hebben dus zeer weinig bijvulling nodig. Dit kan het grote verschil dus niet verklaren. Om te weten of er lekken in het gebouw zijn, wordt aangeraden om de waterteller net na de ontharder 0°F digitaal op te volgen op een online platform, en te zien of er 's nachts en in het weekend ook verbruik is.

Tabel 3: Balans onthard water 0°F. **Zwart:** gemeten stroom. **Groen:** berekening.

	Waterverbruik (m ³ jaar ⁻¹)	Percentage van totaal
Totaal geproduceerd onthard water 0°F	8.319	
Verbruiken onthard water 0°F		
0 Noord	78	0,9%
0 Zuid	31	0,4%
1 Noord	11	0,1%
1 Zuid	55	0,7%
2 Noord	30	0,4%
2 Zuid	31	0,4%
3 Noord	4.860	58%
3 Zuid	877	11%
4 Noord	19	0,2%
4 Zuid	55	0,7%
5 Noord stoomketel	599	7%
Stoombevochtigers +5	50	0,6%
Totaal verbruiken	6.696	80,5%

2.2.3.1 Balans onthard water 0°F 3 Noord

Het valt op dat het hoogste verbruik van onthard water 0°F zich bevindt op 3 Noord (4.860 m³ jaar⁻¹ of 58 % van het totale onthard water 0°F). Op 3 Noord worden de volgende installaties gevoed met onthard water 0°F:

💧 Voeding RO Puretech

- De RO van Puretech heeft een capaciteit van 300 L h⁻¹. Gerekend met 10 productie-uren per dag en 250 dagen per jaar productie, wordt een permeaatdebiet van 750 m³ jaar⁻¹ bekomen. Rekening houdend met een recovery van 71,6 %, wordt een voedingsdebiet van 1.047 m³ jaar bekomen.

💧 Labokranen

- 💧 5 vaatwassers
 - Deze verbruiken hoofdzakelijk deminwater, maar hebben ook een aansluiting op onthard water 0°F, vermoedelijk voor reiniging. Het verbruik is echter niet geweten.
- 💧 1 Milli-Q installatie
- 💧 2 Fedegari autoclaven
 - Met de assumpties hierboven aangegeven, is er een waterverbruik van 1.961 m³ jaar⁻¹.
- 💧 Handwasser + nooddouche

Van de labokranen, Milli-Q installatie, handwasser en nooddouche worden geen hoge verbruiken verwacht (info Sanofi). Met de berekende verbruiken van de RO en de 2 Fedegari installaties (samen 3.009 m³ jaar⁻¹), wordt nog niet aan 4.860 m³ jaar⁻¹ gekomen. In eerste instantie dienen watermeters geplaatst worden op de voeding naar de RO en de Fedegari autoclaven om te weten of deze de hoofdverbruikers zijn van onthard water 0°F op 3 Noord. Indien nodig, kan ook een watermeter geplaatst worden op de voeding naar de 5 vaatwassers (indien mogelijk).

2.2.3.2 Balans RO water 3 Noord

Tevens is het interessant te bekijken waar het **RO water van de RO op 3 Noord** gebruikt wordt:

- 💧 Labokranen 3 Noord
- 💧 5 vaatwassers 3 Noord
 - Gerekend met 5 cycli per dag voor elke vaatwasser, en gerekend met 250 dagen per jaar, wordt een verbruik van 89 m³ jaar⁻¹ bekomen.
- 💧 1 Milli-Q installatie 3 Noord
- 💧 Labokranen 1 Zuid
- 💧 2 elektrische autoclaven 3 Zuid (voor eigen stoomproductie)
 - Met de assumpties hierboven aangegeven, is er een stoomverbruik van 4,2 m³ jaar⁻¹.
- 💧 Labokranen 3 Zuid
- 💧 Labokraan voor het wassen van de kleine bioreactoren (2 / 5 L) 3 Zuid
- 💧 Handmatige aanvulling koelers kleine bioreactoren 3 Zuid
- 💧 2 Milli-Q installatie 3 Zuid
- 💧 Pan of bidonnetje voor incubatoren

Van de labokranen, Milli-Q installaties, koelers en incubatoren worden geen hoge verbruiken verwacht (info Sanofi). De vaatwassers en de elektrische autoclaven lijken het geproduceerde RO permeaat niet te dekken. Om dit te staven, dienen in eerste instantie watermeters geplaatst worden op het RO permeaat en de voeding van RO permeaat naar de 2 autoclaven.

2.2.3.3 Balans onthard water 0°F 3 Zuid

Het tweede grootste verbruik van onthard water 0°F bevindt zich op **3 Zuid** (877 m³ jaar of 11 % van het totaal geproduceerd onthard water 0°F). De volgende verbruikers zitten hier op:

- 💧 Reiniging en vullen dubbele mantel 30 L fermentoren
- 💧 Handmatige aanvulling stoomgenerator voor de 30 L fermentoren
- 💧 Handmatige aanvulling koeler voor de 30 L fermentoren
- 💧 2 elektrische autoclaven
 - Met de assumpties hierboven aangegeven, wordt er een waterverbruik van 109 m³ jaar⁻¹ bekomen.
- 💧 Labokranen
- 💧 Ijsmachine
- 💧 Handwasser + nooddouche

De 30 L fermentoren worden niet vaak gebruikt, dus het verbruik wordt niet hoog verwacht (info Sanofi). De 2 elektrische autoclaven lijken het verbruik niet te dekken. Om dit te staven, wordt aangeraden om watermeters te plaatsen op de voeding naar de 2 autoclaven.

Wat tevens opvalt in de waterbalans, is dat de geproduceerde stoom van de stoomketel op +5 veel hoger ligt dan het ingeschatte stoomverbruik van de 2 Fedegari autoclaven. Het wordt aangeraden om deze waterteller op te volgen op het online platform, om te zien of er stoom wordt geproduceerd, zelfs wanneer de Fedegari autoclaven niet in gebruik zijn. Indien dit het hoge verbruik niet verklaart, kan het opportuun zijn om een watermeter op de spui van de stoomketel te zetten. Het kan namelijk ook een verklaring zijn dat er zeer veel gespuid wordt.

2.2.4 Opvolging watermeters

Van de bestaande watermeters wordt aangeraden de volgende watermeters digitaal op te volgen op een online platform, zoals reeds gedaan wordt voor 'Hoofdteller stadswater':

- 💧 Hoofdteller verzacht water (10-1016800)
- 💧 Hoofdteller verzacht water (vertrek labo's)
- 💧 TR rooms -1 (deze dient nagekeken worden of vervangen te worden, gezien die in 2024 geen verbruik meet, terwijl de fermentoren op 0 Zuid wel gerund hebben. Het is dus ook niet duidelijk of deze teller in 2023 juist gemeten heeft)
- 💧 3 Noord
- 💧 3 Zuid
- 💧 N Stoomketel (schuin links)

Voor de watermeters op de stoombevochtigers op +5 wordt aangeraden deze mee op te nemen in de maandelijkse meterstanden.

Tevens wordt aangeraden om op de volgende strategische plaatsen **bijkomende watermeters** te plaatsen en online op te volgen:

- 💧 Geproduceerd onthard water 15°F
- 💧 RO 3 Noord: voeding + permeaat
- 💧 RO -1: voeding + permeaat van de RO, en permeaat van de EDI
- 💧 Voeding stoomgenerator -1
- 💧 Voeding onthard water 0°F naar autoclaven die vaak gebruikt worden (dus de 2 Fedegari autoclaven op 3 Noord en de 2 elektrische autoclaven op 3 Zuid)
- 💧 Voeding RO permeaat naar de elektrische autoclaven op 3 Zuid

Niet prioritair:

- 💧 Bijvulling koelwater -1 en +5
- 💧 Indien mogelijk: voeding naar de 5 vaatwassers op 3 Noord (zowel onthard water 0°F als RO water)
- 💧 Spui stoomketel +5

Als alternatief kan geopteerd worden om clamp-on debietmeters te plaatsen. Deze worden op de leiding geplaatst, zodat deze niet doorgesneden dient te worden om een watermeter te plaatsen. Clamp-on debietmeters kunnen ofwel permanent, ofwel enkel tijdens een bepaalde meetperiode geplaatst worden. Zo kan er reeds een idee gekregen worden van de verbruiken van de installaties.

Om de waterbalans te sluiten dient tot slot ook de venturi bemeten worden, om zo het geloosde bedrijfsafvalwater te meten.

3 MAATREGELEN TEGEN VERDUNDE LOZING

In **Tabel 4** zijn de gemeten BOD waarden in de venturi van Bio-accelerator 1 in 2024 weergegeven. Er is te zien dat er vaak een verdunde lozing optreedt ($BOD < 100 \text{ mg L}^{-1}$).

Tabel 4: Gemeten BOD waarden in de venturi van Bio-accelerator 1 in 2024. **Rood:** verdunde lozing ($BOD < 100 \text{ mg L}^{-1}$).

Datum	BOD waarde (mg L^{-1})
26/04/2024	28
17/07/2024	110
31/07/2024	22
16/08/2024	60
29/08/2024	<3,0
12/09/2024	320

Om de verdunning tegen te gaan, kunnen verschillende soorten maatregelen genomen worden, die in volgende secties verder uitwerkt zullen worden:

- 💧 Waterbesparing, zodat dezelfde vuilvracht in een kleiner volume geloosd wordt, en zo de concentraties in de lozing hoger zullen zijn.
 - Er dient vermeld worden dat in 2023 reeds de volgende waterbesparende maatregelen in het sanitair toegepast werden; hiervoor werd tevens het BREEAM certificaat verkregen:
 - Waterbesparende douchekoppen (6 L min^{-1})
 - Beluchters op de lavabokranen
 - Vaatwassers die minder verbruiken

Echter hebben deze maatregelen geen invloed op de lozing van het bedrijfsafvalwater in de venturi, gezien de sanitaire afvalwaterstromen apart ingezameld worden.

- 💧 Bepaalde verdunnende afvalwaterstromen aansluiten op de regenweerafvoer (RWA), zodat ze geen verdunning meer bewerkstelligen in de lozing in de venturi.
- 💧 Afvalwaterhergebruik, om minder of niets meer te lozen in de droogweerafvoer (DWA) van de campus.
- 💧 Installaties die verdunnende stromen genereren, vervangen door andere / nieuwe die dit niet hebben.
 - De oude RO installatie op 3 Noord van Puretech (van 2010) heeft hoogstwaarschijnlijk een hoge spui. Sanofi is aan het bekijken om deze RO installatie in 2025 te vervangen. Er wordt aangeraden de recovery zo hoog mogelijk in te stellen (om zo weinig mogelijk te spuien), en watermeters te plaatsen op zowel de voeding naar de RO als het RO permeaat.
 - Wanneer beslist wordt om de Fedegari autoclaven te vervangen door nieuwe, dient gekeken te worden naar water- en energie efficiënte toestellen, die reeds een interne recirculatie van het water voor de vacuümpompen hebben.

In **Tabel 5** wordt een overzicht weergegeven van de mogelijks te nemen maatregelen om de verdunde lozing tegen te gaan.

Tabel 5: Overzicht mogelijke maatregelen om de verdunde lozing tegen te gaan. Per maatregel wordt de impact op de lozing weergegeven (zowel qua debiet als BOD concentratie), het waterbesparingspotentieel indien van toepassing, aandachtspunten en de economische haalbaarheid.

Maatregel	Impact op lozing	Besparingspotentieel	Aandachtspunten	Economische haalbaarheid
Recirculatie water voor vacuümpompen autoclaven (sectie 3.1.1)	± 950 m³ j⁻¹ of 12 % minder BAW lozing in venturi - Gemiddelde BOD concentratie stijgt van 109 naar 124 mg L⁻¹ (13 % stijging)	± 950 m³ j⁻¹ stadswater of 11 % bespaard	- Indien T > 15 °C: recirculatiewater koelen met externe chiller of warmtewisselaar - Aantal recirculaties afhankelijk van contaminanten in water	- Leidingwerk + chiller (kost afhankelijk koelcapaciteit) - Praktische en economische haalbaarheid dient in meer detail bekeken worden
Recirculatie water voor vacuümpompen + koelwater condensaten autoclaven (sectie 3.1.2)	± 2.070 m³ j⁻¹ of 26 % minder BAW lozing in venturi - Gemiddelde BOD concentratie stijgt van 109 naar 147 mg L⁻¹ (35 % stijging)	± 2.070 m³ j⁻¹ stadswater of 26 % bespaard	- Meer koeling nodig dan in bovenstaand scenario (6°C) met externe chiller of warmtewisselaar - Aantal recirculaties afhankelijk van contaminanten in water	- Leidingwerk + chiller (kost afhankelijk koelcapaciteit) - Praktische en economische haalbaarheid dient in meer detail bekeken worden
Aansluiting water voor vacuümpompen + koelwater condensaten autoclaven op RWA (sectie 3.2.1)	± 2.070 m³ j⁻¹ of 26 % minder BAW lozing in venturi - Gemiddelde BOD concentratie stijgt van 109 naar 147 mg L⁻¹ (35 % stijging)	/	- Bedrijfsafvalwater mag niet in de regenwaterputten terechtkomen - Vergunning nodig (waarschijnlijk op campusniveau). Voor parameters boven het IC dienen lozingsnormen aangevraagd worden.	Praktische en economische haalbaarheid dient in meer detail bekeken worden
Aansluiting RO concentraten op RWA (sectie 3.2.2)	± 314 m³ j⁻¹ of 4 % minder BAW lozing in venturi - Gemiddelde BOD concentratie stijgt van 109 naar 113 mg L⁻¹ (4 % stijging)	/	- Bedrijfsafvalwater mag niet in de regenwaterputten terechtkomen - Vergunning nodig (waarschijnlijk op campusniveau). Voor	Praktische en economische haalbaarheid dient in meer detail bekeken worden.

			parameters boven het IC dienen lozingsnormen aangevraagd worden.	
Aansluiting regeneratiewater ontharders op RWA (sectie 3.2.4)	± 579 m³ j⁻¹ of 7 % minder BAW lozing in venturi - Gemiddelde BOD concentratie stijgt van 109 naar 117 mg L⁻¹ (8 % stijging)	/	- Bedrijfsafvalwater mag niet in de regenwaterputten terechtkomen - Vergunning nodig (waarschijnlijk op campusniveau). Voor parameters boven het IC dienen lozingsnormen aangevraagd worden.	Praktische en economische haalbaarheid dient in meer detail bekeken worden
Aansluiting spui stoomketels -1 en +5 op RWA (sectie 3.2.3)	Te weinig info aanwezig	/	- Debiet en kwaliteit spui dient nagegaan worden - Vergunning nodig (waarschijnlijk op campusniveau). Voor parameters boven het IC dienen lozingsnormen aangevraagd worden.	Praktische en economische haalbaarheid dient in meer detail bekeken worden
Bedrijfsafvalwaterhergebruik (sectie 4)	Concentraatstroom wordt geloosd op RWA, dus geen lozing meer in DWA	± 6.074 m³ j⁻¹ stadswater of 68 % bespaard	- Biologische zuivering + RO nodig - Vergunning nodig (waarschijnlijk op campusniveau). Voor parameters boven het IC dienen lozingsnormen aangevraagd worden.	- CAPEX infra + zuivering: ± € 239.400 - OPEX: ± 1,50 € m⁻³ of ± 8.584 € jaar⁻¹ - Totaal CAPEX+OPEX: ± 6,42 € m⁻³ of ± 36.649 € jaar⁻¹ - Terugverdientijd: ± 9 jaar

3.1 Lokale recirculatie

3.1.1 Water voor vacuümpompen autoclaven

Autoclaven beschikken over vacuümpompen om de sterilisatiekamer vacuüm te trekken. Tijdens een cyclus hebben deze pompen een constante watertoevoer nodig voor hun werking. Op heden wordt dit water rechtstreeks afgevoerd naar de riolering. Dit water zou echter in een kring kunnen **gerecirculeerd** worden, zodat geen vers water nodig is. De vacuümpomp vereist een temperatuur < 15 °C; er kan dus best een **externe chiller of warmtewisselaar** geplaatst worden om het water tot de gewenste temperatuur te koelen. Hoe vaak het water kan gerecirculeerd worden, hangt ook af van welke contaminanten meekomen met het water.

Gezien de autoclaaf op 0 Zuid niet vaak gebruikt wordt, hoeft daar geen waterkringloop voorzien te worden. De autoclaven op 3 Zuid en 3 Noord worden echter wel frequenter gebruikt. Er werd berekend dat die resp. ± 50 en $900 \text{ m}^3 \text{ jaar}^{-1}$ water verbruiken voor de vacuümpompen (rekening houdend met de veronderstellingen opgenomen in sectie 2.2). Indien dit water gerecirculeerd zou worden, betekent dit $\pm 950 \text{ m}^3 \text{ jaar}^{-1}$ waterbesparing of $\pm 11\%$ stadswaterbesparing. Ook wordt dit water niet meer geloosd, wat $\pm 12\%$ minder lozing betekent.

3.1.2 Water voor vacuümpompen + condenswater autoclaven

Autoclaven beschikken tevens over een watertoevoer om de condensaten af te koelen (er dient nagekeken worden bij Sanofi of deze condensaatkoeling effectief toegepast wordt). Er kan geopteerd worden om zowel het water van de vacuümpompen, als het koelwater voor de condensaten in een kring te **recirculeren**. Voor koeling is een lagere temperatuur nodig: 6 °C. Dit wil zeggen dat het recirculatiewater intenser zal dienen gekoeld te worden dan in het scenario hierboven. Dit kan door een **externe chiller of warmtewisselaar** te plaatsen. Hoe vaak het water kan gerecirculeerd worden, hangt ook af van welke contaminanten meekomen met het water.

Voor de autoclaven op 3 Zuid en 3 Noord werd berekend dat die resp. ± 109 en $1.961 \text{ m}^3 \text{ jaar}^{-1}$ water verbruiken voor de vacuümpompen en de koeling samen (rekening houdend met de veronderstellingen opgenomen in sectie 2.2). Indien dit water gerecirculeerd zou worden, betekent dit $\pm 2.070 \text{ m}^3 \text{ jaar}^{-1}$ waterbesparing of $\pm 23\%$ stadswaterbesparing. Ook wordt dit water niet meer geloosd, wat $\pm 26\%$ minder lozing betekent.

3.2 Afkoppeling stromen naar RWA

Indien één of meerdere van onderstaande scenario's wenst uitgevoerd worden, wordt aangeraden om watermeters te plaatsen op de relevante stromen om het exacte debiet te kennen. Er dient dan een vergunning aangevraagd te worden voor lozing van bedrijfsafvalwater op oppervlaktewater (waarschijnlijk op campusniveau; dient geverifieerd te worden). Voor parameters boven het indelingscriterium dienen lozingsnormen aangevraagd worden.

Indien het te lozen bedrijfsafvalwater op de RWA meer dan $20 \text{ m}^3 \text{ dag}^{-1}$ bedraagt, dient er bijkomend een impactanalyse van de lozing op de ontvangende waterloop uitgevoerd worden. Hieruit zullen de uiteindelijke lozingsnormen dan voortvloeien.

3.2.1 Water voor vacuümpompen + condenswater autoclaven

In plaats van het water voor de vacuümpompen en condenswater van de autoclaven te recirculeren, zouden ze ook kunnen aangesloten worden op de RWA. Dit zou betekenen dat er $\pm 2.070 \text{ m}^3 \text{ jaar}^{-1}$ of $\pm 26\%$ minder bedrijfsafvalwater geloosd zou worden in de venturi.

Gezien het over bedrijfsafvalwater gaat, mag dit niet zomaar in de regenwatertanks terecht komen. Één optie is om dit water aan te sluiten op de dichtstbijzijnde regenwaterafvoer van een groendak, gezien die rechtstreeks wordt aangesloten op de RWA in de baan. Er dient dan bekeken worden of de regenwaterleiding dit bijkomende debiet aankan. Een andere optie is om dit water te hergebruiken voor toiletspoeling. Voordien wordt best eens getest welke contaminanten in dit water zitten (bv. olie) die schadelijk kunnen zijn voor pompen en materialen. Het water dient dan via een aparte leiding opgevangen te worden in een aparte buffertank, en van daaruit kan het bijgevuld worden in de regenwaterrecuperatie installatie in het waterlokaal op -1. De overloop van deze tank dient aangesloten worden op een RWA leiding die rechtstreeks naar de RWA leiding in de baan gaat (niet naar de regenwatertanks).

3.2.2 RO concentraten

Het voedingswater naar de RO's betreft onthard stadswater. Gezien er geen analyses voorhanden zijn van dit water, wordt uitgegaan van de gemiddelde drinkwaterkwaliteit van Farys, bemeten door Farys in het 1e semester van 2024. De kwaliteit van RO concentraat werd dan berekend rekening houdend met een worst case recovery van 75 %. Dit alles wordt weergegeven in **Tabel 6** (enkel de parameters die in het stadswater van Farys boven de detectielimiet liggen, zijn weergegeven. Calcium en magnesium worden verwijderd door de ontharders). Er is te zien dat er voor fluoride, koper, seleen, uranium en zink lozingsnormen dienen aangevraagd worden, gezien ze dichtbij of over het indelingscriterium liggen.

Tabel 6: Weergave gemiddelde kwaliteit stadswater (SW) van Farys in 1^e semester 2024 (enkel parameters boven de detectielimiet), op basis waarvan de kwaliteit van RO concentraat is berekend, rekening houdend met een worst case recovery van 75 %. In de laatste kolom staat het indelingscriterium (IC) weergegeven. Voor parameters waarbij het IC overschreden wordt (**rood**) of die zeer dichtbij het IC liggen (**oranje**), dient een lozingsnorm aangevraagd worden.

Parameter	Eenheid	Kwaliteit SW Farys	Kwaliteit RO concentraat	IC
Boor	mg L ⁻¹	0,04	0,16	0,7
Broomdichloormethaan	µg L ⁻¹	0,8	3,2	
Chloraat	µg L ⁻¹ ClO ₃	21	84	
Chloride	mg L ⁻¹	32,5	130	
Fluoride	mg L ⁻¹	0,2	0,8	0,9 (opgelost)
Geleidbaarheid	µS cm ⁻¹ (20°C)	730	2.920	
Kalium	mg L ⁻¹	3,7	14,8	
Koper	mg L ⁻¹	0,01	0,04	0,050
Natrium	mg L ⁻¹	21,5	86,0	
Nitraat	mg L ⁻¹ NO ₃	14,2	56,8	
Organische koolstof totaal (NPOC)	mg L ⁻¹	0,9	3,6	
Seleen	µg L ⁻¹	1,5	6,0	3
Sulfaat	mg L ⁻¹	92	368	
Totale Hardheid	°F	39,6	158,4	
Trihalomethanen	µg L ⁻¹	8,3	33,2	
Uranium	µg L ⁻¹	1,4	11,2	1
Zink	µg L ⁻¹	22	264	200

De RO op 3 Noord produceert ± 297 m³ jaar⁻¹ RO concentraat en de RO en EDI op -1 produceren samen ± 17 m³ jaar⁻¹ concentraat (alhoewel het niet zeker is of de waterteller juist werkt!). Opgelet, om de debieten zeker te weten, dienen watermeters geplaatst worden! Indien deze stromen zouden afgekoppeld worden, zou ± 314 m³ jaar⁻¹ of ± 4 % minder bedrijfsafvalwater geloosd worden in de venturi.

Voor de praktische afkoppeling gelden dezelfde opties als hierboven weergegeven in sectie 3.2.1. Opgelet, indien onverdund RO concentraat zou hergebruikt worden voor toiletspoeling, dient het materiaal van de leidingen nagegaan worden om te zien of die bestendig zijn tegen corrosie. Tevens kunnen zich zoutafzettingen voordoen op vlotters, pompen etc.

3.2.3 Spui stoomketels

De spui van de stoomketels op -1 en +5 zou aangesloten kunnen worden op de RWA. Om te weten of er genoeg spui is om een impact te hebben bij afkoppeling, kunnen best watermeters of tijdelijke clamp-on debietmeter geplaatst worden.

Om de kwaliteit van de spui na te gaan, dient eerst nagegaan worden welke additieven toegevoegd worden aan de stoomketels. In tweede instantie kan best een analyse uitgevoerd worden op de spuistromen.

Voor de praktische afkoppeling gelden dezelfde opties als hierboven weergegeven in sectie 3.2.1. Opgelet, indien onverdund spui van de stoomketels zou hergebruikt worden voor toiletspoeling, dient het

materiaal van de leidingen nagegaan worden om te zien of die bestendig zijn tegen corrosie. Tevens kunnen zich zoutafzettingen voordoen op vlotters, pompen etc.

3.2.4 Regeneratiewater ontharders

Er zou geopteerd kunnen worden om het regeneratiewater van de 0°F ontharders en de 15°F ontharder aan te sluiten op RWA. Ontharders halen calcium en magnesium ionen uit het water. Wanneer de harskolom verzadigd is, dient die geregenereerd te worden. Hiervoor wordt zout (NaCl) gebruikt. Bijgevolg bevat het regeneratiewater een hoge chlorideconcentratie.

Het regeneratiewater van de 0°F ontharders bedraagt $539 \text{ m}^3 \text{ jaar}^{-1}$ en dat van de 15°F ontharders $\pm 40 \text{ m}^3 \text{ jaar}^{-1}$ (met de veronderstelling dat er eenzelfde percentage spoelverlies optreedt als bij de 0°F ontharders). Bij afkoppeling van het regeneratiewater zou er dus $579 \text{ m}^3 \text{ jaar}^{-1}$ of 7 % minder bedrijfsafvalwater geloosd worden in de venturi.

Er kan bekeken worden om het regeneratiewater aan te sluiten op de dichtstbijzijnde regenwaterafvoer van een groendak, gezien die rechtstreeks wordt aangesloten op de RWA in de baan. Er dient dan bekeken worden of de regenwaterleiding dit bijkomende debiet aankan.

4 BEDRIJFSAFVALWATERHERGEBRUIK

In dit scenario wordt bedrijfsafvalwaterhergebruik bekeken om opnieuw te gebruiken in de labo's, m.a.w. in het circuit van het onthard water 0°F.

4.1 Kwaliteit

In oktober 2022 is de kwaliteit van het geloosde bedrijfsafvalwater gedurende 5 dagen opgemeten. Vervolgens zijn de parameters temperatuur, pH en BOD op 5 data verspreid over juli t.e.m. september 2024 opgemeten. De resultaten zijn weergegeven in **Tabel 7**, alsook de geldende lozingsnormen. Er is te zien dat de BOD waarden sterk kunnen fluctueren.

Tabel 7: Kwaliteit van het afvalwater, gemeten gedurende 5 dagen in oktober 2022. Van de parameters T, pH en BOD zijn er tevens 5 metingen beschikbaar van juli t.e.m. september 2024. Ernaast zijn tevens de sectorale lozingsnormen en het indelingscriterium weergegeven.

Parameter	Eenheid	Gem	Min	Max	IC / sectorale lozingsnormen
Temperatuur	°C	13,5	4,8	24,3	45
pH		8,98	7,54	9,77	6,5 - 9,5
Zwevende stoffen	mg/l	18,2	3,8	62	1.000
BOD	mg/l	109	<3,0	320	
COD	mg/l	287	171	371	
DOC	mg C/l	88	48	120	
Totale stikstof	mg N/l	10,08	5,81	15,2	
Fosfor (P)	mg/l	5,0	3,4	8,8	1
Chloride	mg/l	156	81,5	329	
Arseen (As)	mg/l	<0,0050			0,025
Cadmium (Cd)	mg/l	<0,00040			0,004
Chroom (Cr)	mg/l	<0,010		0,011	0,2
Koper (Cu)	mg/l	0,032	0,019	0,052	0,4
Lood (Pb)	mg/l	<0,010			0,2
Nikkel (Ni)	mg/l	0,0056	<0,0050	0,01	0,03
Zilver (Ag)	mg/l	<0,00020			0,04
Zink (Zn)	mg/l	0,071	0,052	0,095	0,8
Kwik	mg/l	<0,00010			0,005
EOX	µg Cl/l	<5,0			
AOX	µg Cl/l	19	<20	39	1.000
Fenol	µg/l	1,6	1,2	2,2	
o-Cresol	µg/l	<0,10			
m-Cresol	µg/l	0,09	<0,10	0,17	
p-Cresol	µg/l	2,7	2	4	
Nonylphenol	µg/l	0,88	0,62	1,1	0,3
Bisphenol A	µg/l	<0,10		0,31	1,5
Octylfenol	µg/l	<0,030			0,1
Som monochloorfenolen	µg/l	<0,10			
Som dichloorfenolen	µg/l	<0,10			
Som trichloorfenolen	µg/l	<0,10		1,5	6
Som tetrachloorfenolen	µg/l	<0,10			
Som chloorfenolen	µg/l	<0,10		1,5	20
Totaal fenolen	µg/l	5,6	4,4	7,3	

4.2 Vraag en aanbod

Zoals aangegeven in sectie 2.2.2, wordt de venturi voor de lozing van het bedrijfsafvalwater momenteel niet bemeten. Echter werd in deze sectie een inschatting gemaakt van het geloosde bedrijfsafvalwater, namelijk $8.010 \text{ m}^3 \text{ jaar}^{-1}$.

Het benodigde onthard water 0°F wordt wel bemeten en bedraagt $8.319 \text{ m}^3 \text{ jaar}^{-1}$.

O.b.v. deze gegevens blijkt dat er nog wat aanvulling met stadswater zal nodig zijn. Dit zal nog meer zijn gezien er een deel verlies optreedt in de zuiveringsinstallatie (zie verder).

4.3 Zuiveringstechnologie

In de labo's is water van drinkwaterkwaliteit nodig (behalve voor de parameter hardheid; die moet 0°F zijn).

Gezien het bedrijfsafvalwater meestal te hoge waarden van organisch materiaal bevat om rechtstreeks over membraantechnologie te gaan, dient eerst een biologische zuivering voorzien te worden. Voor de biologische zuivering van afvalwater zijn er verschillende configuraties mogelijk. In deze studie worden een helofytenfilter, een membraanbioreactor (MBR) en een sequencing batch reactor (SBR) toegelicht. Nadien is een verder doorgedreven zuivering nodig om tot drinkwaterkwaliteit te komen.

4.3.1 Biologische zuivering

In een biologische zuivering staan micro-organismen in voor de verwijdering van organische stoffen uit het water. Tevens wordt een deel van de aanwezige stikstof en fosfor verwijderd uit het afvalwater door opname in de biomassa van de bacteriën. Per 100 g COD wordt zo 3 tot 5 g stikstof verwijderd, en $0,8 \text{ g}$ fosfor verwijderd. Indien stikstof nog verder verwijderd dient te worden, wordt het nitrificatie – denitrificatie proces toegepast.

- Tijdens de nitrificatiestap wordt ammonium omgezet naar nitraat door nitrificerende bacteriën. Deze bacteriën hebben een aerobe omgeving nodig (bekken dient belucht te worden) en gebruiken anorganische koolstof (CO_2) als energiebron. De optimale pH voor nitrificatie is tussen $7,5 - 8$ en deze stap verloopt moeizamer bij temperaturen lager dan 20°C , en gaat slechts heel traag door bij temperaturen lager dan 15°C .
- Tijdens de denitrificatiestap wordt het gevormde nitraat dan weer gereduceerd tot stikstofgas doordat het verbruikt wordt tijdens de COD afbraak in anoxische condities (gemengd en niet belucht). In de praktijk is een minimale BOD/N verhouding van 5 nodig om volledige denitrificatie te laten doorgaan, en idealiter is die $7 - 8$. In het geval van Sanofi bedraagt dit gemiddeld 14 , wat dus zeker hoog genoeg is. Wanneer blijkt dat er niet genoeg BZV in het influent zit, dient een koolstofbron bijgedoseerd te worden, bv. melasse. Denitrificatie is minder gevoelig voor pH- en

temperatuursschommelingen dan nitrificatie, maar wel gevoeliger m.b.t. de zuurstofconcentratie. Indien de opgeloste zuurstofconcentratie namelijk hoger ligt dan $0,5 \text{ mg L}^{-1}$, gaat denitrificatie praktisch niet meer door. Ook de oxidatie-reductie potentiaal (ORP) dient in de gaten gehouden te worden: als deze lager dan -150 mV ligt, spreken we van anaerobe omstandigheden en dan bestaat er risico op septiciteit (fermentatie), wat niet goed is voor actief slib wanneer dit voor langere tijd aanhoudt gezien er inhiberende stoffen kunnen gevormd worden.

Om te weten of nitrificatie - denitrificatie voor deze case nodig is, dient echter niet alleen totale stikstof, maar ook nitraat, nitriet en ammonium bemeaten worden in het afvalwater.

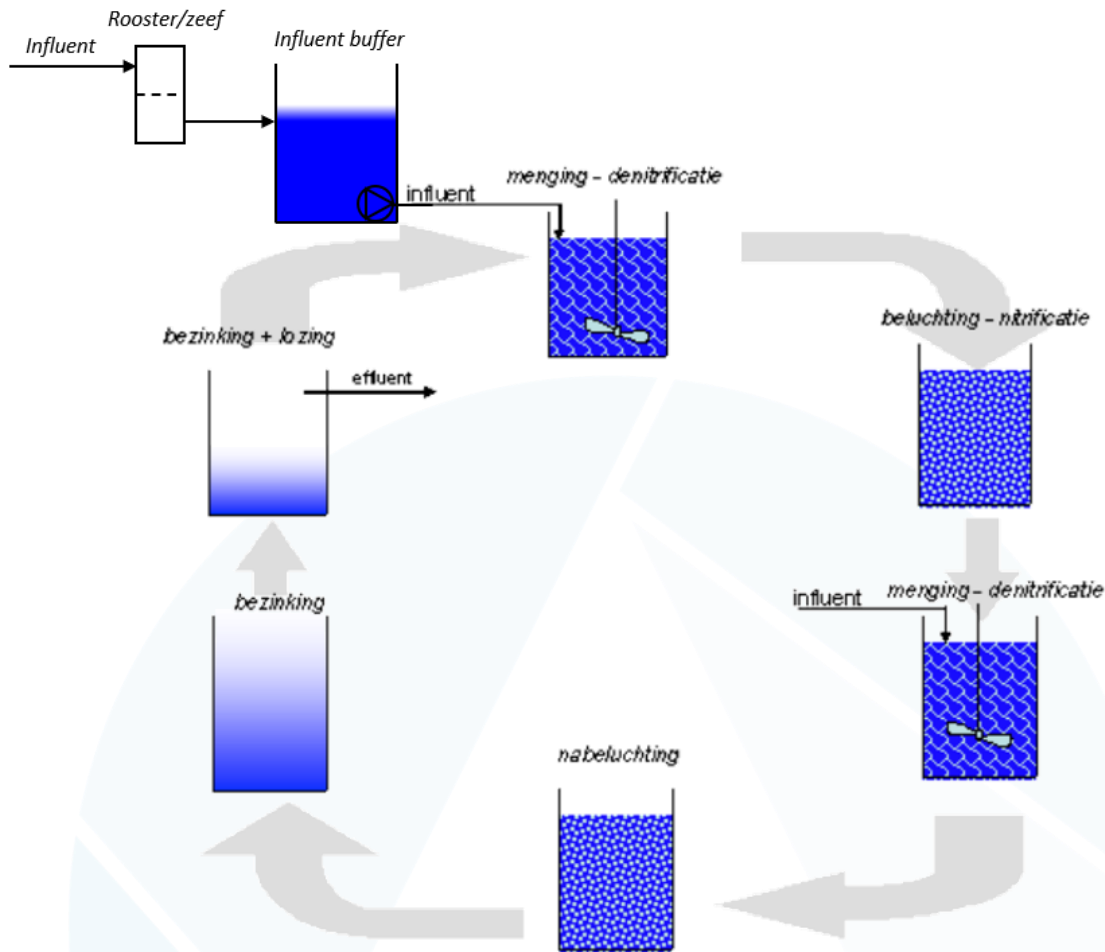
Voor fosfor wordt typisch een coagulant gedoseerd, bv. FeCl_3 , om de fosfor neer te slaan.

4.3.1.1 Sequencing batch reactor

In een SBR worden de verschillende stappen van een biologische zuivering achtereenvolgens in de tijd uitgevoerd in één tank, wat plaatsbesparend werkt. In **Figuur 1** staan de verschillende stappen afgebeeld in geval van stikstofverwijdering (dus met het nitrificatie – denitrificatie proces). Om het nitrificatie – denitrificatie proces vlot te laten verlopen, worden fases van menging + voeding (denitrificatie) afgewisseld met fases van beluchting (nitrificatie).

In de bezinkingsfase wordt het slib gescheiden van het gezuiverde afvalwater. Om deze stap vlot te laten verlopen, zijn slibvlokken van een goede structuur en hoge densiteit aangewezen. Draadvormige micro-organismen zijn hier ongewenst, gezien ze ophopend slib en floterend slib veroorzaken. Gezien het slib ook aangroeit, dient een deel van het slib gespuid worden. Het gespuide slib kan ingedikt en opgehaald worden.

SBR's zijn zeer geschikt voor afvalwaters die in batchen komen. Indien de afvalwaterstroom continu is, dient een influentbuffer geplaatst te worden. Voor de influent buffer worden roosters of zeven geplaatst om grof vuil te verwijderen. Een effluent buffer dient geplaatst worden om het gezuiverd afvalwater in op te vangen, om dan verder opgezuiverd te kunnen worden tot drinkwaterkwaliteit.

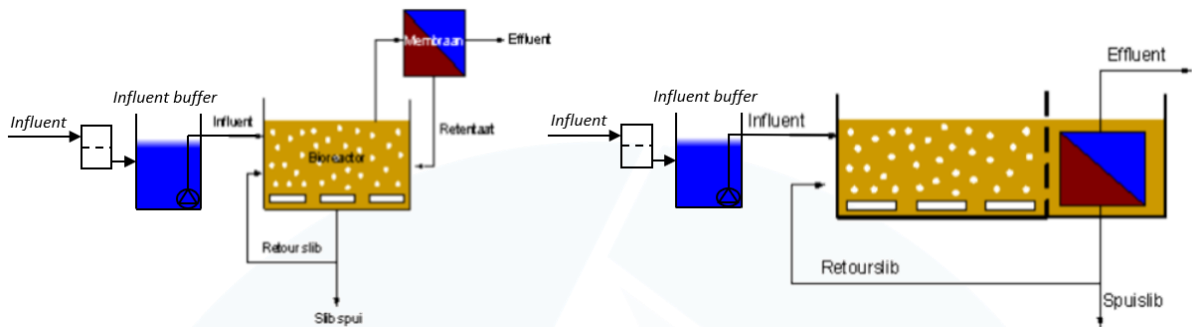


Figuur 1: Schema van een SBR voor biologische zuivering van afvalwater met stikstofverwijdering.

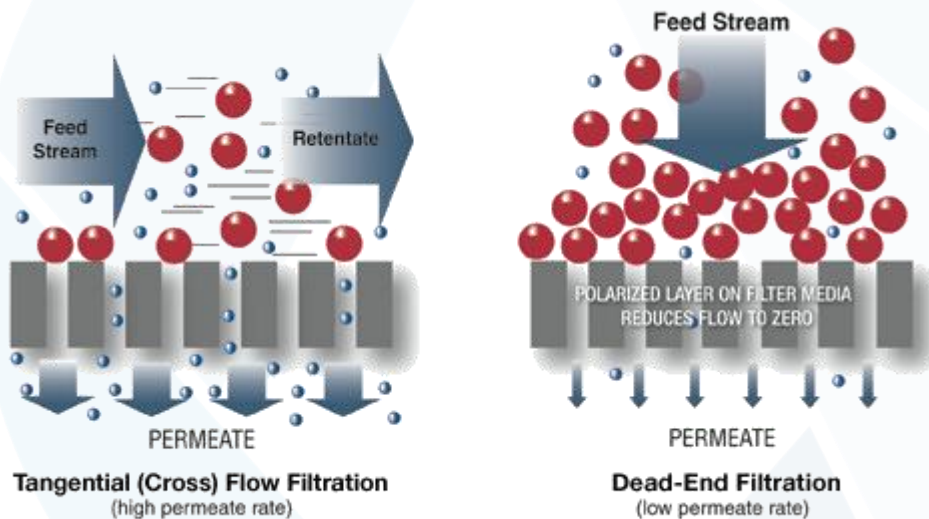
4.3.1.2 Membraanbioreactor

Een membraan bioreactor (MBR) betreft een biologische zuivering door micro-organismen met als laatste stap een membraanfiltratie. Het compartiment met de biologische zuivering zelf kan deels belucht, deels niet belucht worden (of opgesplitst in tijd) om resp. nitrificatie en denitrificatie voor stikstofverwijdering te laten doorgaan. Ook coagulant voor fosforverwijdering (bv. FeCl_3) wordt in dit compartiment toegevoegd. Voor de membranen kunnen zowel micro- (MF) als ultrafiltratie (UF) membranen gehanteerd worden, al wordt laatstgenoemde het meest toegepast. UF membranen (poriegrootte typisch tussen 30 en 100 nm) zorgen ervoor dat er geen slibvlokken of andere zwevende stoffen in het effluent terechtkomen. Ook houden ze macromoleculen en de meeste bacteriën en virussen tegen. Zo zorgen de membranen ervoor dat er geen nabezinktank nodig is om het slib te laten bezinken, wat bespaart in ruimte. Gezien de scheiding van slib en water dus niet afhankelijk is van bezinking, kunnen tevens hogere slibconcentraties in het biologisch bekken aangehouden worden en kan de reactor kleiner gedimensioneerd worden in vergelijking met een conventioneel systeem. De membranen worden ofwel ondergedompeld in het bekken (**Figuur 2** rechts), ofwel droog opgesteld buiten het beluchte bekken (extern systeem, **Figuur 2** links). In een ondergedompeld systeem wordt gezuiverd water d.m.v. een

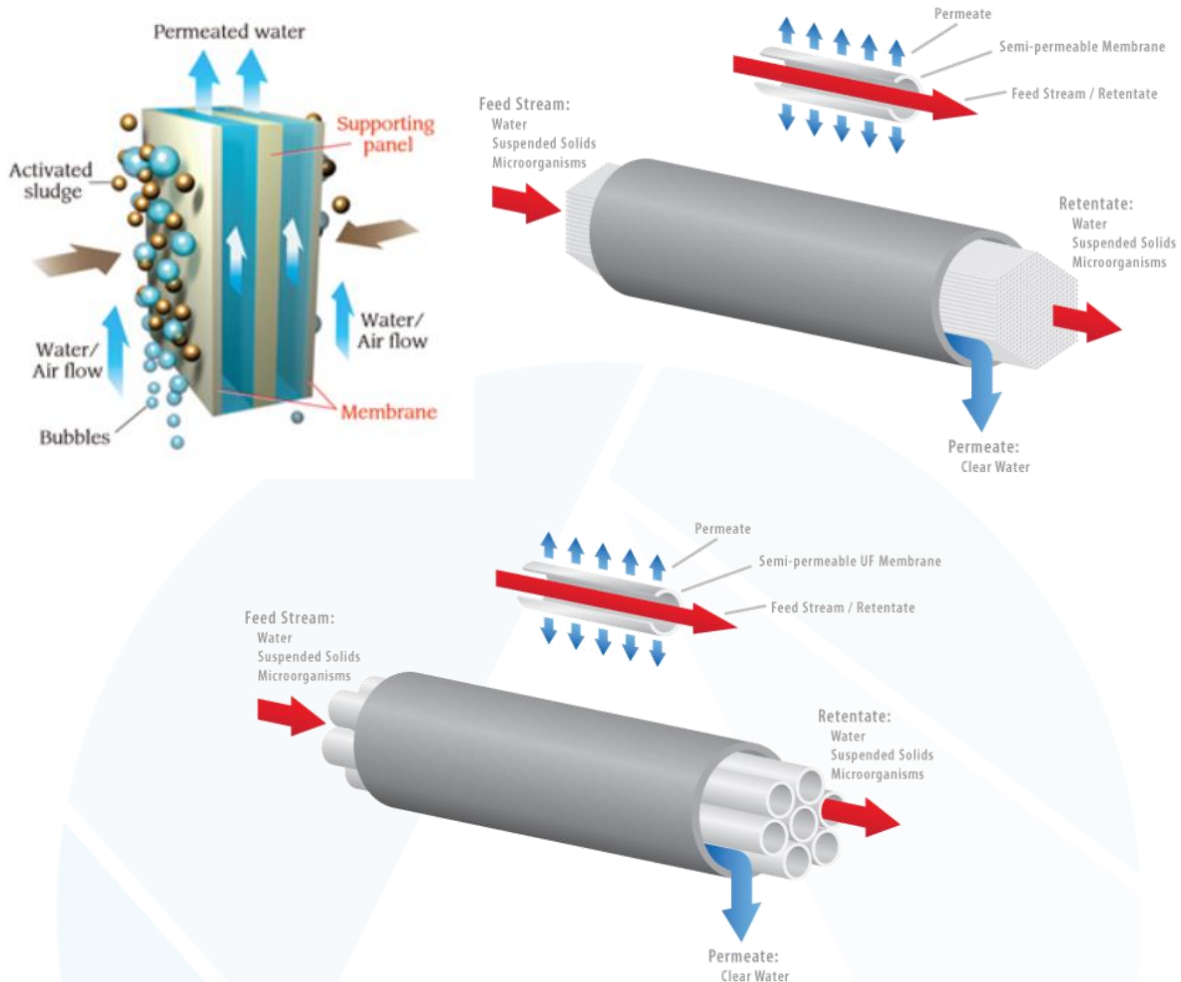
vacuümpomp doorheen de membranen getrokken (**Figuur 3** rechts). Hiervoor worden meestal holle vezel (**Figuur 4** rechts boven) of vlakke-plaat-membranen (**Figuur 4** links boven) gebruikt. In een extern systeem wordt het mengsel van water en slib constant in cross-flow gerecirculeerd over de membranen (**Figuur 3** links). In deze configuratie worden zowel tubulaire (**Figuur 4** onder) als vlakke-plaat membranen gebruikt.



Figuur 2: Schema van een membraanbioreactor. Links: extern systeem. Rechts: ondergedompeld systeem.



Figuur 3: Voorstelling van de twee types setups voor membraansystemen: het cross-flow (links) en dead-end (rechts) principe.



Figuur 4: Links boven: vlakke-plaat membranen. Rechts boven: holle vezel membranen. Onder: tubulaire membranen.

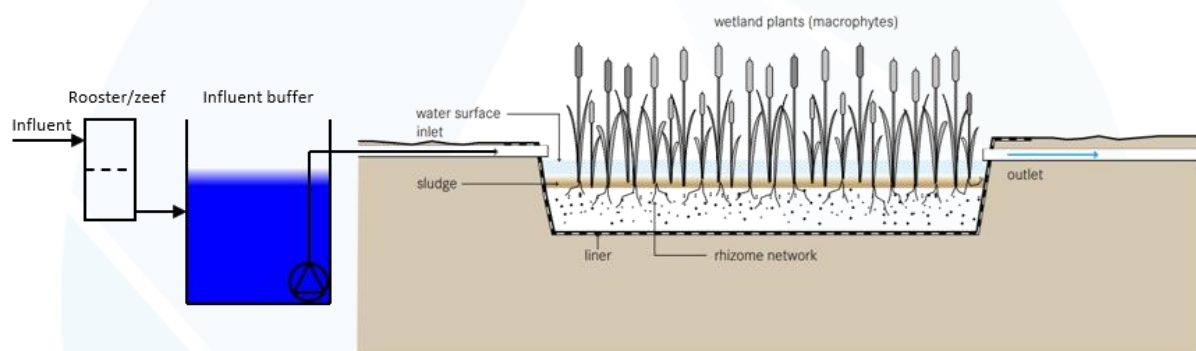
De UF membranen vervuilen tijdens het filtratieproces, gezien de vuile deeltjes achterblijven op het membraanoppervlak. Bij ondergedompelde systemen wordt gezuiverd water in omgekeerde richting door de membranen geduwd wordt om de vervuiling aan het membraanoppervlak los te maken. Bij externe systemen wordt de vervuiling op het membraan steeds opnieuw weggevaagd door het afvalwater dat passeert langs het membraan. Vervuiling die fysisch niet verwijderd kan worden, wordt verwijderd met chemicaliën (NaOH, HCl of H_2SO_4 en javel) tijdens de zogenaamde 'chemically enhanced backwashes'. Tenslotte, als er irreversibele vervuiling optreedt, is er de mogelijkheid om een in-situ chemische reiniging uit te voeren (CIP: cleaning in place), waarbij ook via chemicaliën een meer doorgevoerde chemische reiniging plaatsvindt. De afvalstromen met chemicaliën betekenen slechts een klein waterverlies van $\pm 1\%$.

4.3.1.3 Helofytenfilter

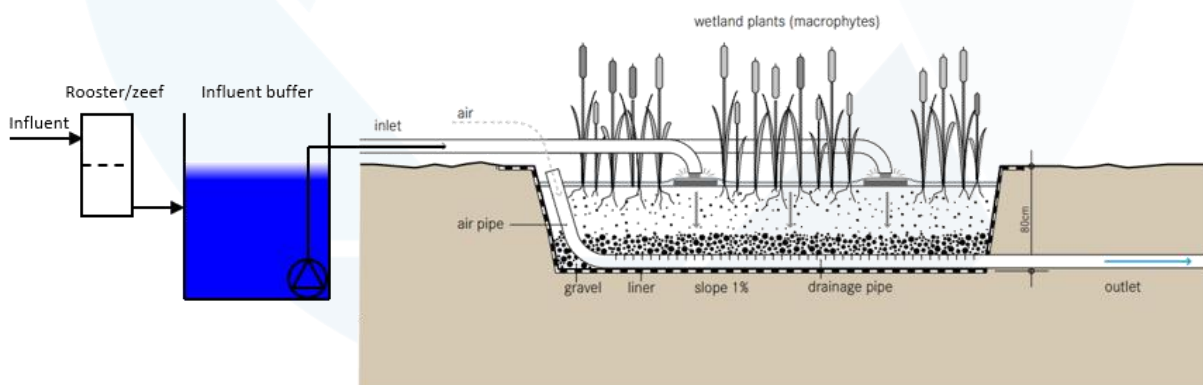
Helofytenfilters zijn door de mens aangelegde natuurlijke behandelingssystemen die afvalwater zuiveren. Helofyten zijn planten die aangepast zijn aan leven in water. Het zijn echter niet zozeer de planten die voor zuivering zorgen, maar eerder de bacteriën die in de bodem of het substraat leven waarin de planten

groeien. Helofyten zorgen voor het leefmilieu waarin bacteriën kunnen prolifereren, omdat bacteriën via de wortels van de plant aan zuurstof komen om polluenten te oxideren. Verder weg van de wortels leven anaerobe bacteriën die via anaerobe processen ook voor zuivering zorgen. Helofytenfilters zijn zo in staat om zwevende stoffen, organische materie en nutriënten (stikstof en fosfor) te verwijderen uit het afvalwater. Stikstof en fosfor worden slechts tot op een bepaald niveau verwijderd (stikstof d.m.v. nitrificatie dichtbij de wortels en denitrificatie verder weg van de wortels, fosfor vooral d.m.v. adsorptie aan het substraat van de filter). Desinfectie vindt slechts in mindere mate plaats.

Er zijn twee types helofytenfilters: filters waarbij het water blootgesteld is aan de atmosfeer (hebben de schijn van vijvers; open water systemen, **Figuur 5**) en filters waar het water door granulair medium percoleert met helofyten op waardoor het water niet in contact komt met de atmosfeer (ondergrondse systemen, **Figuur 6**).

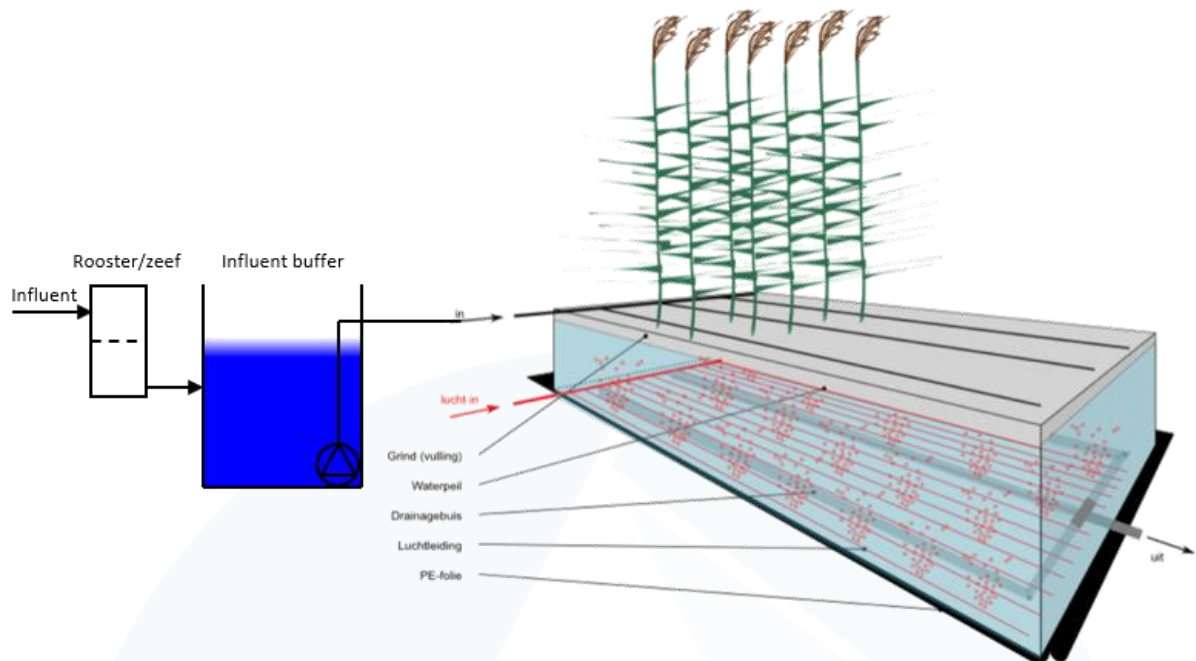


Figuur 5: Schema van een open water helofytenfilter.



Figuur 6: Schema van een ondergrondse verticaal doorstroomde helofytenfilter.

De werking van een helofytenfilter kan efficiënter worden gemaakt door de filter te beluchten. Dit is een gepatenteerde technologie en wordt aangeboden door Rietland. Deze leverancier biedt een belucht systeem ook aan als parking (de Phytoparking), waarbij er geen planten bovenop het systeem komen, maar bv. grassdallen waarop auto's kunnen parkeren. De voor- en nadelen van een onbelucht t.o.v. een belucht systeem staan weergegeven in **Tabel 8**.



Figuur 7: Schema van een beluchte helofytenfilter van Rietland.

Tabel 8: Voor- en nadelen onbeluchte en beluchte helofytenfilter.

Onbelucht	Belucht
Mogelijks verminderde performantie bij temperatuurschommelingen	Stabiele performantie wanneer onderhevig aan temperatuurschommelingen
Grotere oppervlakte	Kleinere oppervlakte
Minder doorgedreven nutriënten verwijdering (temperatuurschommelingen hebben invloed op performantie)	Doorgedreven nutriënten verwijdering (de actieve beluchting zorgt voor een stabiele performantie, ook bij temperatuurschommelingen)
Geen energie voor beluchting	Energie voor beluchting
Minder onderhoud nodig	Meer onderhoud nodig m.b.t. blowers

Voor de case van Sanofi wordt een beluchte helofytenfilter aangeraden, gezien waterhergebruik beoogt wordt en een belucht systeem een stabiele performantie geeft. Een beluchte plantenfilter wordt tijdsgestuurd afwisselend belucht en niet belucht, zodat resp. nitrificatie en denitrificatie kan doorgaan. Ook hier geldt dat er mogelijks een extra koolstofbron dient bijgedoseerd worden, mocht er in het influent te weinig koolstof zitten om denitrificatie volledig te laten doorgaan.

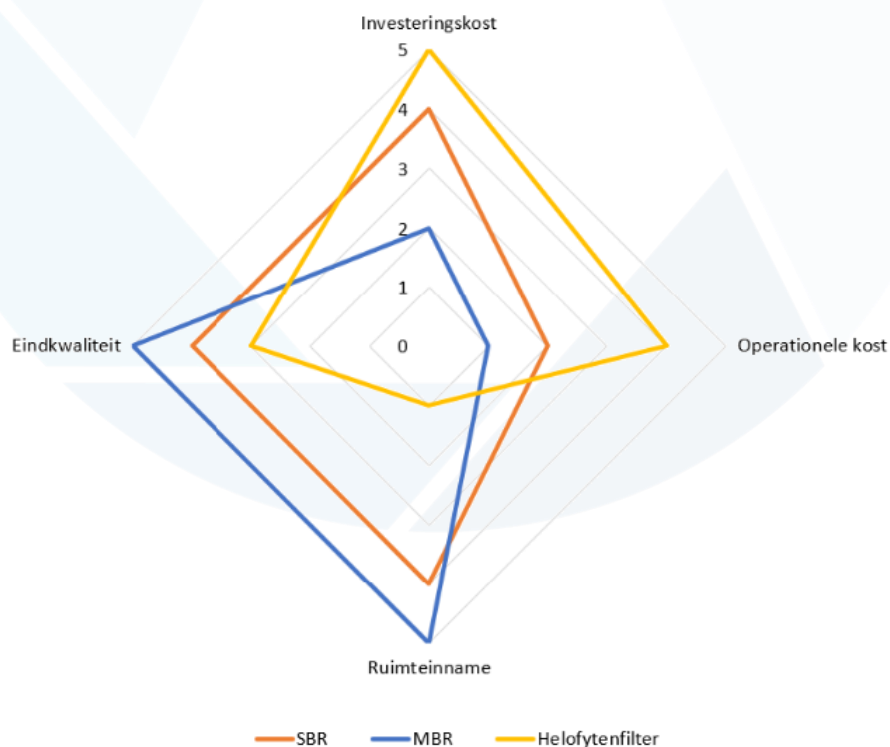
Ook hier dienen roosters of zeven voor de influentbuffer geplaatst te worden om grof vuil te verwijderen.

4.3.1.4 Vergelijking technologieën

In **Tabel 9** worden de voor- en nadelen van de drie besproken technologieën voor biologische zuivering van afvalwater vergeleken. Het dient vermeld te worden dat de BOD waarden in het bedrijfsafvalwater zeer fluctuerend kunnen zijn. Een helofytenfilter is het meest robuust tegen schommelende waarden; voor een SBR en MBR is het best om zo constant mogelijke kwaliteit van afvalwater naar de installaties te sturen.

Vervolgens worden de technologieën in **Figuur 8** vergeleken op vlak van investeringskost, operationele kost, ruimte inname en eindkwaliteit. Hoe hoger de score, hoe beter.

- 💧 Op vlak van **investeringskost** geldt van laagste naar hoogste kost: helofytenfilter < SBR < MBR
- 💧 Op vlak van **operationele kost** geldt van laagste naar hoogste kost: helofytenfilter < SBR < MBR
- 💧 Op vlak van **ruimte inname** geldt van laagste naar hoogste ruimteinname: MBR < SBR < helofytenfilter
- 💧 Op vlak van **eindkwaliteit** geldt van hoogste naar laagste eindkwaliteit: MBR < SBR < helofytenfilter



Figuur 8: Radardiagram waarin de drie technologieën vergeleken worden op vlak van investeringskost, operationele kost, ruimte inname en eindkwaliteit. Een score van 1 tot 5 werd telkens toegekend; hoe hoger de score, hoe beter.

Tabel 9: Vergelijkende tabel met voor- en nadelen van de drie besproken technologieën voor biologische zuivering van afvalwater.

Configuratie	Voordelen	Nadelen
SBR	✓ Slechts één tank, dus weinig ruimte inname ✓ Procestijden flexibel en eenvoudig aan te passen ✓ Gunstiger voor het vermijden van draadvormige bacteriën	✗ Minder goede werking van bezinking dan conventioneel systeem want geen conische tank of schraper
MBR	✓ Hoge effluentkwaliteit: totale retentie van zwevende stoffen, alsook het grootste deel bacteriën en virussen ✓ Compacte installatie, want geen nabezinktank nodig en kleiner biologisch bekken door hogere slibconcentraties ✓ Wijdverspreid ✓ Hogere slibconcentraties zorgen voor hogere afbraaksnelheden ✓ Rechtstreeks nazuivering voor hergebruik mogelijk	✗ Kostprijs ✗ Technologisch complexere installatie ✗ Nauwgezette opvolging en onderhoud vereist ✗ Membraanvervuiling door rechtstreeks contact van slib met de membranen ✗ Zuurstofoverdracht wordt bemoeilijkt door dikke slibmassa, dus efficiënt beluchtingssysteem nodig
Helofytenfilter	✓ Lagere investeringskost ✓ Laag in onderhoud ✓ Robuust systeem ✓ Esthetisch landschapselement ✓ Goed voor de biodiversiteit	✗ Neemt veel ruimte in ✗ Eindkwaliteit kan minder consistent zijn dan in bovenstaande configuraties en kan seizoenaal fluctueren door temperatuursverschillen ✗ Helofytenfilter zelf verwijdert geen fosfor; nog extra filter met fosfor-adsorberend materiaal nodig

4.3.2 Zuivering tot drinkwaterkwaliteit

Gezien drinkwaterkwaliteit beoogd wordt, kan er best een reverse osmosis (RO) installatie geplaatst worden. Afhankelijk van het gehalte aan zwevende stoffen en organisch materiaal dat nog in het effluent van de biologische zuivering zit, is nog een ultrafiltratie (UF) installatie nodig om de RO membranen te beschermen. Indien deze waarden echter laag genoeg zijn, kan er enkel een zandfilter of grof- en fijnfilter voor de RO voorzien worden. In het geval een MBR als biologische zuivering voorzien wordt, kan rechtstreeks naar een RO gegaan worden.

Een RO installatie ontvangt best een zo constant mogelijke kwaliteit. Indien verder gegaan wenst te worden met dit scenario, zullen bijkomende analyses op het afvalwater dienen uitgevoerd worden, waaronder zouten, en zal tevens de variabiliteit van deze parameters in de tijd moeten in kaart gebracht worden.

Ook kan de hoeveelheid geloosd afvalwater best gemeten worden, alsook het benodigde onthard water 0°F gemonitord worden. Dit om de capaciteit van zowel de biologische zuivering, als de hergebruiksinstallatie te bepalen. Momenteel kan enkel afgegaan worden op de maandverbruiken van binnenkomend stadswater. Op basis hiervan werd een inschatting gemaakt van hoeveel bedrijfsafvalwater maandelijks geloosd wordt, veronderstellend dat er 10% verliezen zijn (door verdamping etc.). Vervolgens werd ingeschat hoeveel bedrijfsafvalwater dagelijks geloosd wordt, rekening houdend met 20 dagen per maand. Voor de capaciteit van de biologische zuivering en de hergebruiksinstallatie dient rekening gehouden worden het 90-percentiel debiet. Hiermee komen we uit op een capaciteit van $\pm 55 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ of $\pm 2,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ influentwater naar de biologische zuivering (o.b.v. de debieten van 2024, gezien die wat hoger liggen dan die in 2023).

De standaard recovery van een RO installatie bedraagt 75 %, en van een UF of zandfilter 95 %. Een deel van het bedrijfsafvalwater zal dus niet hergebruikt worden, maar komt in de concentraatstroom terecht die dient geloosd worden. Dit verlies dient gecompenseerd worden met stadswater, hetwelk gemiddeld $\pm 14 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ of $\pm 3.567 \text{ m}^3 \text{ jaar}^{-1}$ zal bedragen.

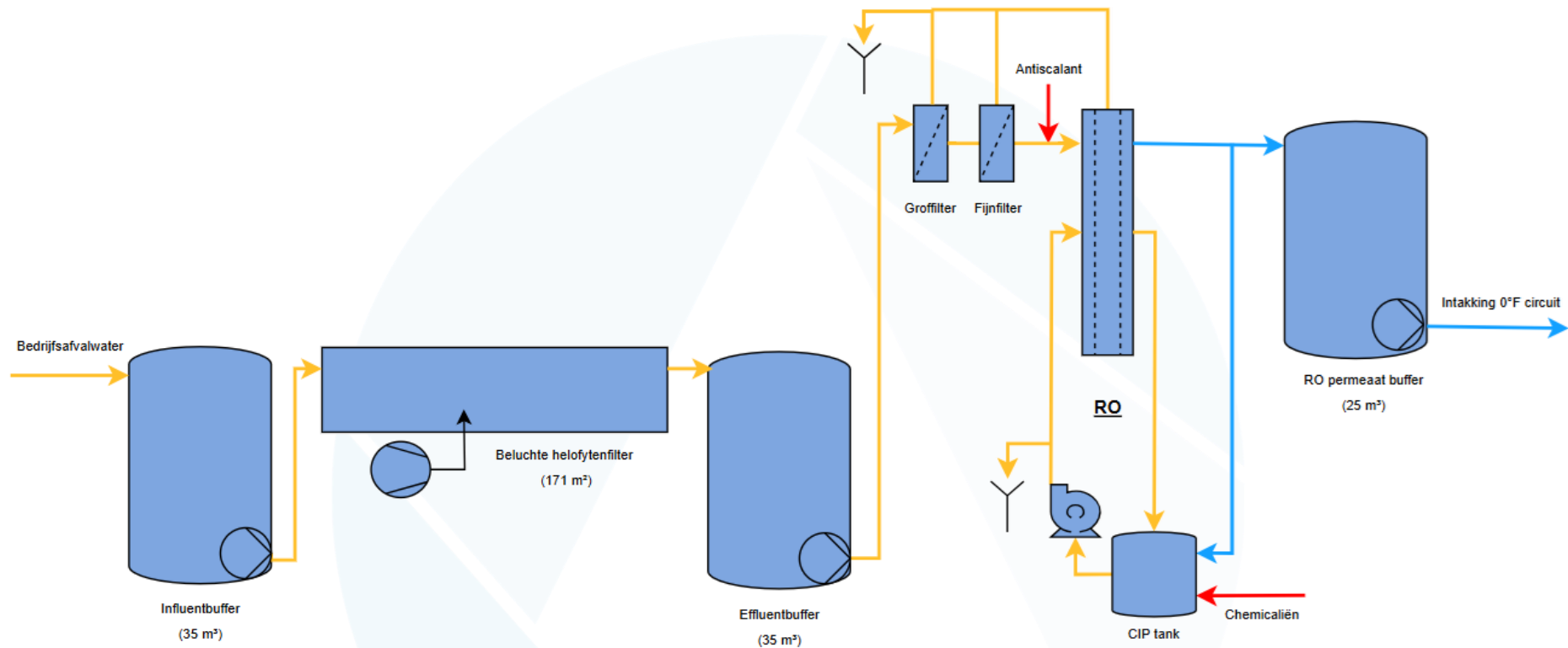
Gezien het biologisch gezuiverd afvalwater betreft, kan de concentraatstroom van de RO op de RWA van de campus geloosd worden. Er dient dan een vergunning aangevraagd worden voor lozing van bedrijfsafvalwater op oppervlaktewater (waarschijnlijk op campusniveau; dient geverifieerd te worden). Voor parameters boven het indelingscriterium dienen lozingsnormen aangevraagd worden. Indien het te lozen bedrijfsafvalwater op RWA meer dan $20 \text{ m}^3 \text{ dag}^{-1}$ bedraagt, dient er bijkomend een impactanalyse van de lozing op de ontvangende waterloop uitgevoerd worden. Hieruit zullen de uiteindelijke lozingsnormen dan voortvloeien.

De influent- en effluentbuffer van de biologische zuivering bedragen best een gemiddeld dagvolume, wat hier neerkomt op een 35 m³ tank. Voor het RO permeaat is een 25 m³ tank voldoende.

Indien voor de biologische zuivering geopteerd wordt voor een beluchte helofytenfilter, dient die 171 m² groot te zijn.

Een preliminaire PFD is weergegeven in **Figuur 9**. Een meer gedetailleerde PFD met basic design van de installatie kan in een vervolgstudie worden opgesteld indien gewenst.





Figuur 9: PFD van de zuiveringstrein voor bedrijfsafvalwaterhergebruik. Biologische zuivering (hier beluchte helofytenfilter afgebeeld, maar kan ook een SBR of MBR zijn), gevolgd door grof- en fijnfilter (kan ook zandfilter zijn, of indien nodig UF) en RO.

4.4 Controleprogramma op maat

Indien het wettelijk bepaald is dat het hergebruikwater van drinkwaterkwaliteit dient te zijn, dient een Hazard Analysis and Critical Control Points-studie (HACCP) uitgevoerd worden, inclusief een gevarenanalyse. HACCP is een preventief systeem dat bedoeld is om de gevaren te beheersen met het oog op het verzekeren van ten alle tijde water van drinkwaterkwaliteit aan het aftappunt in productie. De studie behelst zowel de onttrekking, het behandelingsproces als het transport van water tot aan het aftappunt.

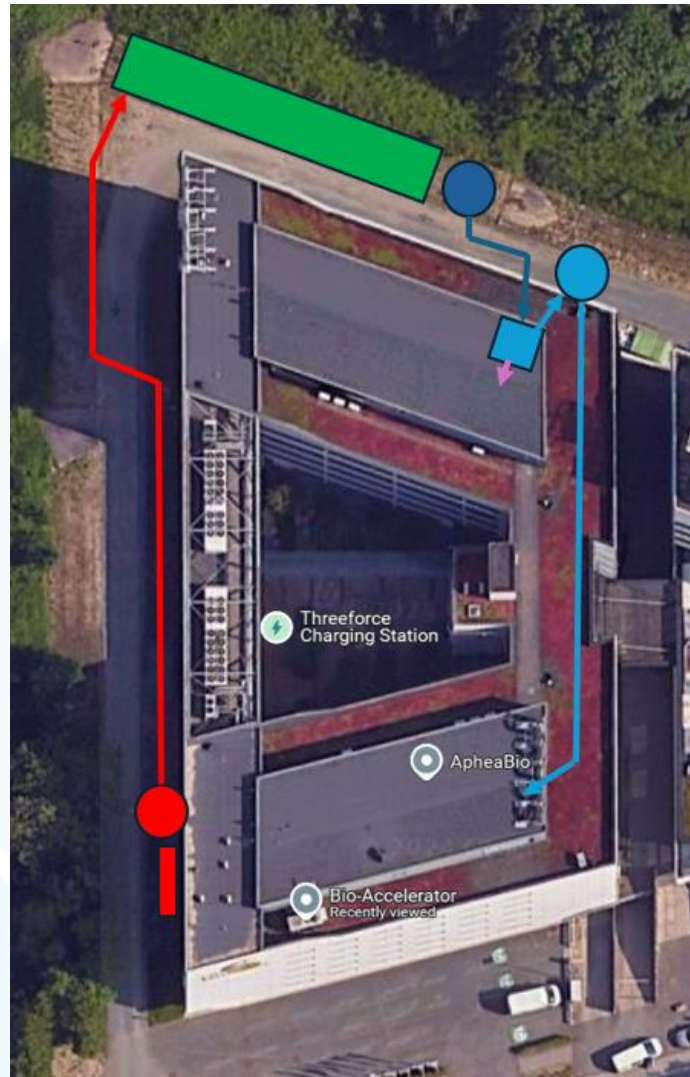
De HACCP studie bestaat uit de volgende stappen:

1. Identificeren en evalueren van de gevaren → hieruit komt een controleprogramma (o.a. de te analyseren parameters en de frequentie van analyses)
2. Bepalen van de Critical Control Points
3. Vastleggen van de kritische grenswaarden voor de Critical Control Points
4. Vaststellen en toepassen van efficiënte bewakingsprocedures voor de Critical Control Points → operationele monitoring
5. Corrigerende maatregelen (en correctieve acties) bij het overschrijden van de kritische grenswaarden
6. Verificatieprocedures voor de punten 1 tot 5 → nalevingsmonitoring (analyses aan aftappunt in productie)
7. Opstelling van een doeltreffend registratie-en documentatiesysteem

4.5 Praktisch

Figuur 10 geeft de nodige infrastructuurwerken weer voor bedrijfsafvalwaterhergebruik. Het bedrijfsafvalwater dient net voor de venturi opgevangen worden in de influentput van 35 m³ (dit kan een combinatie van een standaard betonnen put van 20 m³ en 15 m³ zijn), die dan een overloop heeft naar de venturi. Vanuit de influentput dient het afvalwater naar de biologische zuivering gepompt worden. Indien er gekozen wordt voor een beluchte helofytenfilter, kan die bv. achteraan het gebouw geplaatst worden (L x B = 34 x 5 m), waar op dit moment grasdallen voor parkeerplaatsen liggen. Indien gekozen wordt voor de Phytoparking van Rietland, kan deze ruimte nog steeds benut worden als parking. Het biologisch gezuiverd afvalwater loopt gravitair in de effluentput van 35 m³. Van daaruit wordt het water naar de hergebruiksinstallatie gepompt. Deze kan bv. geplaatst worden in het lokaal waar vroeger het vat biologisch afval stond. De concentraatstroom van de RO kan dan misschien aangesloten worden op de bestaande regenwaterafvoer van het groendak die daar langs komt (dient bekeken te worden). Het RO permeaat wordt opgevangen in een tank van 25 m³ en van daaruit dient een leiding geplaatst worden die intact op het bestaande circuit van onthard water 0°F naar alle verbruikers.

Om de stadswaterbijvulling te bewerkstelligen, kan ofwel gewerkt worden met een blokafsluiter in het 0°F circuit, ofwel wordt nog een kleine watertank geplaatst in of naast het waterlokaal waar zowel RO permeaat inkomt, als bijvulling van onthard water 0°F, alvorens ingetakt wordt op het 0°F circuit.



Figuur 10: Benodigde infrastructuurwerken voor bedrijfsafvalwaterhergebruik. Het bedrijfsafvalwater wordt opgevangen in een influentput (rode cirkel), met een overloop naar de venturi (rode rechthoek). Van daaruit wordt het afvalwater naar de biologische zuivering gepompt (hier een beluchte helofytenfiler, groene rechthoek). Het gezuiverde afvalwater wordt opgevangen in een effluentput (blauwe cirkel), van waaruit het gepompt wordt naar de hergebruiksinstallatie (blauwe rechthoek). Het RO concentraat (magenta pijl) kan aangesloten worden op de bestaande RWA afvoer van het groendak. Het RO permeaat wordt opgevangen in een buffertank (blauwe cirkel), van waaruit ingetakt wordt op het bestaande circuit van onthard water 0°F.

4.6 Economische analyse

In onderstaande tabellen en figuur werd dit scenario onderworpen aan een preliminaire economische evaluatie ($\pm 35\%$). Deze dient steeds met de nodige voorzichtigheid behandeld worden en betreffen ruwe kostenramingen. Om een concrete business case op te maken zijn echter basic design en een betere kostenraming nodig.

Tabel 10: Overzicht CAPEX kosten voor de infrastructuurwerken en zuiveringsinstallatie van het scenario van bedrijfsafvalwaterhergebruik (excl. openbreken/ heraanleggen van wegenis).

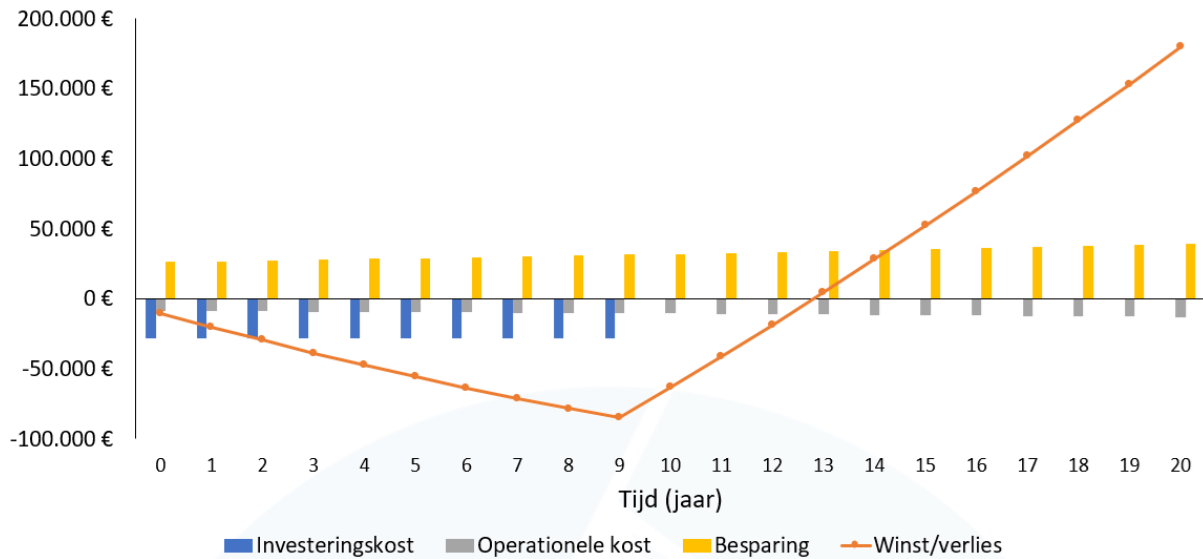
CAPEX	Aantal	Eenheidsprijs	Totale kost
Infrastructuurwerken			69.400 €
Influent - en effluentbuffer 35 m ³ (beton)	2 stuk	12.000 € stuk ⁻¹	24.000 €
Pomp bedrijfsafvalwater naar beluchte helofytenfilter (3 m ³ h ⁻¹ , 20 m opvoerhoogte)	1 stuk	2.500 € stuk ⁻¹	2.500 €
Persleiding naar beluchte helofytenfilter ($\pm$ DN 30)	83 m	115 € m ⁻¹	9.545 €
Pomp naar hergebruiksinstallatie (2,5 m ³ h ⁻¹ , 20 m opvoerhoogte)	1 stuk	2.500 € stuk ⁻¹	2.500 €
Persleiding naar hergebruiksinstallatie	22 m	115 € m ⁻¹	2.530 €
RO permaat buffer (geschikt voor drinkwaterkwaliteit) (25 m ³)	1 stuk	22.000 € stuk ⁻¹	22.000 €
Leiding naar waterlokaal	55 m	115 € m ⁻¹	6.325 €
Zuiveringsinstallatie			170.000 €
Beluchte helofytenfilter (171 m ²)			85.000 €
Zandfilter 2,5 m ³ h ⁻¹			15.000 €
RO 2 m ³ h ⁻¹			70.000 €

Tabel 11: Overzicht totale CAPEX (infrastructuur + zuivering) en OPEX van de zuiveringsinstallatie in het scenario van bedrijfsafvalwaterhergebruik, alsook de kostenbesparing. De OPEX is exclusief de kost voor analyses voor opvolging van de kwaliteit van het geproduceerde hergebruikwater.

CAPEX totaal	€ 239.400
CAPEX afgeschreven op 10 jaar	4,92 € m ⁻³ 28.065 € jaar ⁻¹
OPEX	1,50 € m⁻³ 8.584 € jaar⁻¹
Beluchte helofytenfilter (*)	0,25 € m ⁻³ 1.450 € jaar ⁻¹
Zandfilter + RO	1,25 € m ⁻³ 7.134 € jaar ⁻¹
CAPEX + OPEX	6,42 € m⁻³ 36.649 € jaar⁻¹
Kostenbesparing (op stadswateropname en lozing)	26.444 € jaar⁻¹

(*) Incl. onderhoudscontract (1 x per jaar), revisie van de blowers (om de 5 jaar), vervanging 1 blower om de 5 jaar, energiekost (aan 0,30 € kWh⁻¹). Excl. snoeien van riet of andere beplanting.

De terugverdientijd bedraagt ± 9 jaar, rekening houdend met de totale CAPEX en de kostenbesparing.



Figuur 11: Weergave van de investeringskost, operationele kost en besparing in euro per jaar, en de cumulatieve winst/verlies over de jaren heen voor het scenario van bedrijfsafvalwaterhergebruik. Een inflatie van 2% werd verondersteld en CAPEX werd afgeschreven over 10 jaar.

5 CONCLUSIE

Uit een vorige studie bleek dat Bio-accelerator 1 een significante bijdrage had aan de verdunde lozing op campus Ardoyen van Universiteit Gent. Om de verdunde lozing van Bio-accelerator 1 tegen te gaan, werden in deze studie volgende stappen ondernomen:

- 💧 De waterbalans van Bio-accelerator 1 werd opgemaakt en geëvalueerd (zie sectie 2).
- 💧 Op basis van de waterbalans werden maatregelen voorgesteld om de verdunde lozing tegen te gaan. Er werd gekeken naar
 - Lokale recirculatie van waterstromen (zie sectie 3.1)
 - Afkoppeling verdunnende stromen naar RWA (zie sectie 3.2)
 - Bedrijfsafvalwaterhergebruik (zie sectie 4)

Een overzichtstabel van de mogelijks te nemen maatregelen is te vinden in **Tabel 5**.