

stowa

# TEO EN P-VERWIJDERING UITWERKING MAATSCHAPPELIJKE WAARDEBEPALING



RAPPORT

2022  
43

TEO EN P-VERWIJDERING

UITWERKING MAATSCHAPPELIJKE WAARDEBEPALING

RAPPORT

2022

43

ISBN 978.90.5773.987.3



[stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl) [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Dr. G. Kruitwagen, Witteveen + Bos  
Dr. V.M. Luimstra, Witteveen + Bos  
Ir. M. F. B. van der Werf, Witteveen + Bos

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Jarno van Westreenen, Samenwarm  
Pim de Jager, Aquacare  
Stijn Boeren, Avecom  
Harry de Brauw, Waternet  
Sannah Peters, Waternet  
Etteke Wypkema, Waterschap Brabantse Delta  
Jasper Stroom, Waternet  
Marco van Schaik, STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau bv  
STOWA STOWA 2022-43  
ISBN 978.90.5773.987.3

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.  
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

# TEN GELEIDE

## **KANSEN VOOR WATERKWALITEIT BIJ WARMTEWINNING**

**Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO) biedt op een aantal locaties kansen om fosfor (P) te verwijderen. In dit rapport zijn drie mogelijke verwijderingstechnieken beschreven en beoordeeld op meerwaarde en toepasbaarheid. Hiermee kan de waterbeheerder bepalen welke techniek op een specifieke locatie het best inzetbaar is.**

In het voorjaar 2021 hebben STOWA en Waternet een Winnovatie challenge georganiseerd om ideeën te verzamelen voor de combinatie van TEO met P-verwijdering. TEO is sterk in opkomst als duurzame bron in de warmtetransitie. Fosfor is een van de belangrijke probleemstoffen voor het bereiken van een goede waterkwaliteit. Combinatie van een TEO-installatie met een voorziening die fosfor verwijdert kan bijdragen aan zowel de energietransitie als de waterkwaliteitsopgave.

De drie winnende ideeën, Biofree, Nutreact bioreactor en drijvende mosselbakken, zijn in dit rapport beoordeeld op 12 criteria. Behalve de effectiviteit van de P-verwijdering en kosten wogen aspecten als energieverbruik van de installatie, ruimtebeslag, afvalproductie en mogelijkheden tot hergebruik van het gewonnen fosfor, ook mee.

Voor de Biofree en Nutreact lijken goed toepasbaar onder een breed scala aan omstandigheden met een aanzienlijke controleerbaarheid, maar tegen wat hogere kosten. Driehoeksmosselen zijn al eerder toegepast, maar hier zijn de voorwaarden voor een succesvolle toepassing stringenter.

Een logische volgende stap is het doorrekenen van de technieken voor een specifieke locatie en het opzetten van enkele pilots.

Joost Buntsma  
Directeur STOWA

# DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

*Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.*

# TEO EN P-VERWIJDERING UITWERKING MAATSCHAPPELIJKE WAARDEBEPALING

## INHOUD

COLOFON

TEN GELEIDE

DE STOWA IN HET KORT

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
1.1	Doel	1
1.2	Aanpak	1
1.2.1	Maatschappelijke waardebepalng	2
1.2.2	Toetsingscriteria	2
1.2.3	Uitgangspunten en aannames	3
1.3	Leeswijzer	3
<b>2</b>	<b>UITGANGSPUNTEN VOOR DE VALUE CASES</b>	<b>4</b>
2.1	Uitwerking criteria	4
2.2	Referentiecasses TEO-installatie	8
2.2.1	Schaalgroottes	8
2.2.2	Toetsing referentiecasses	9
2.3	Waterkwaliteit	9
2.4	Referentietechnologie P-verwijdering	10
<b>3</b>	<b>MAATSCHAPPELIJKE WAARDEBEPALING BIOPHREE</b>	<b>12</b>
3.1	Beschrijving van de technologie	12
3.2	Toetsing	13
3.2.1	Criterium 1: het systeem verlaagt de concentratie P in het ingenomen water significant	13
3.2.2	Criterium 2: het systeem heeft geen nadelige invloed op de warmtewinning door het TEO-systeem	14
3.2.3	Criterium 3: het ruimtebeslag van het systeem voor P-verwijdering is beperkt	15
3.2.4	Criterium 4: de onderhoudsbehoefte van het systeem voor P-verwijdering is beperkt	15
3.2.5	Criterium 5: toegepaste grondstoffen zijn herbruikbaar	16
3.2.6	Criterium 6: afvalproductie per behandeld watervolume is lager dan bij traditionele zuiveringstechnieken	17
3.2.7	Criterium 7: het systeem gebruikt geen chemicaliën die milieuschade kunnen veroorzaken	18
3.2.8	Criterium 8: het systeem verbruikt weinig energie in relatie tot de energieopbrengst uit de TEO-installatie	19
3.2.9	Criterium 9: de kosten voor P-verwijdering met het systeem zijn lager dan reguliere kosten voor P-verwijdering	20
3.2.10	Criterium 10: het systeem brengt geen milieuvreemde stoffen in het water	22
3.2.11	Criterium 11: het systeem voor P-verwijdering brengt geen aanvullende schade toe aan flora en fauna	22
3.2.12	Criterium 12: geogste fosfor kan worden hergebruikt	22
3.3	Conclusie	23

<b>4</b>	<b>MAATSCHAPPELIJKE WAARDEBEPALING NUTREACT</b>	<b>25</b>
<b>4.1</b>	Beschrijving van de technologie	25
<b>4.2</b>	Toetsing	26
4.2.1	Criterium 1: het systeem verlaagt de concentratie P in het ingenomen water significant	26
4.2.2	Criterium 2: het systeem heeft geen nadelige invloed op de warmtewinning door het TEO-systeem	27
4.2.3	Criterium 3: het ruimtebeslag van het systeem voor P-verwijdering is beperkt	27
4.2.4	Criterium 4: de onderhoudsbehoefte van het systeem voor P-verwijdering is beperkt	28
4.2.5	Criterium 5: toegepaste grondstoffen zijn herbruikbaar	29
4.2.6	Criterium 6: afvalproductie per behandeld watervolume is lager dan bij traditionele zuiveringstechnieken	29
4.2.7	Criterium 7: het systeem gebruikt geen chemicaliën die milieuschade kunnen veroorzaken	30
4.2.8	Criterium 8: het systeem verbruikt weinig energie in relatie tot de energieopbrengst uit de TEO-installatie	31
4.2.9	Criterium 9: de kosten voor P-verwijdering met het systeem zijn lager dan reguliere kosten voor P-verwijdering	32
4.2.10	Criterium 10: het systeem brengt geen milieuvreemde stoffen in het water	34
4.2.11	Criterium 11: het systeem voor P-verwijdering brengt geen aanvullende schade toe aan flora en fauna	34
4.2.12	Criterium 12: geogste fosfor kan worden hergebruikt	35
<b>4.3</b>	Conclusie	35
<b>5</b>	<b>MAATSCHAPPELIJKE WAARDEBEPALING DRIJVENDE MOSSELBAK</b>	<b>37</b>
<b>5.1</b>	Beschrijving van de technologie	37
5.1.1	Aannames	38
5.1.2	Patent	39
5.1.3	Toepassing van driehoeksmosselen	39
<b>5.2</b>	Toetsing	39
5.2.1	Criterium 1: het systeem verlaagt de concentratie P in het ingenomen water significant	39
5.2.2	Criterium 2: het systeem heeft geen nadelige invloed op de warmtewinning door het TEO-systeem	40
5.2.3	Criterium 3: het ruimtebeslag van het systeem voor P-verwijdering is beperkt	41
5.2.4	Criterium 4: de onderhoudsbehoefte van het systeem voor P-verwijdering is beperkt	42
5.2.5	Criterium 5: toegepaste grondstoffen zijn herbruikbaar	43
5.2.6	Criterium 6: afvalproductie per behandeld watervolume is lager dan bij traditionele zuiveringstechnieken	43
5.2.7	Criterium 7: het systeem gebruikt geen chemicaliën die milieuschade kunnen veroorzaken	44
5.2.8	Criterium 8: het systeem verbruikt weinig energie in relatie tot de energieopbrengst uit de TEO-installatie	44
5.2.9	Criterium 9: de kosten voor P-verwijdering met het systeem zijn lager dan reguliere kosten voor P-verwijdering	45
5.2.10	Criterium 10: het systeem brengt geen milieuvreemde stoffen in het water	46
5.2.11	Criterium 11: het systeem voor P-verwijdering brengt geen aanvullende schade toe aan flora en fauna	46
5.2.12	Criterium 12: geogste fosfor kan worden hergebruikt	47
<b>5.3</b>	Conclusie	48
<b>6</b>	<b>MEERWAARDE COMBINATIES ONDERLING OF MET OVERIGE INZENDINGEN</b>	<b>50</b>
<b>6.1</b>	Meerwaarde van combinaties	50
6.1.1	Toepasbaarheid overige inzendingen	50
6.1.2	Mogelijke meerwaarde overige inzendingen	52
6.1.3	Samenvatting winnende ideeën	53
6.1.4	Kansen bij inzet BioPhree	53
6.1.5	Kansen bij inzet Nutreact bioreactor	54
6.1.6	Kansen bij inzet drijvende mosselbak	54
<b>7</b>	<b>CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN</b>	<b>56</b>

# 1

## INLEIDING

### 1.1 DOEL

Winning van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) wordt beschouwd als een veelbelovende stap in de energietransitie. Bij inzet van TEO wordt water aan het oppervlaktewater onttrokken, langs een warmtewisselaar geleid en daarna weer teruggevoerd naar het oppervlaktewater<sup>1</sup>. STOWA voert momenteel verschillende onderzoeken uit naar mogelijke negatieve effecten van TEO op het oppervlaktewater. Echter, het verpompen van het water biedt ook de kans om het water extra bewerkingen te geven om de waterkwaliteit juist te verbeteren. Veel Nederlandse oppervlaktewateren hebben een overschot aan fosfor (P), wat één van de grootste belemmeringen is om waterkwaliteitsdoelen van de Europese Kaderrichtlijn Water te behalen. Installaties voor de winning van thermische energie uit oppervlaktewater bieden dus een mooie meekoppelkans voor P-verwijdering.

In 2021 heeft STOWA een Winnovatie-challenge uitgeschreven om ideeën te genereren om TEO-installaties te combineren met voorzieningen voor fosforverwijdering: ‘Warmte winnen en fosfor verwijderen uit oppervlaktewater: twee vliegen in een klap?’<sup>2</sup>. Als deze ideeën haalbaar zijn, wordt zowel een bijdrage geleverd aan de energietransitie als de waterkwaliteit van het betreffende oppervlaktewater verbeterd. Via de challenge zijn 17 ideeën ingebracht, waarvan drie inzendingen als winnaar zijn aangewezen: ‘Aquathermie en bioreactor, 2 handen op 1 buik’, ‘Een drijvende filterbak met driehoeksmosselen’ en ‘Fosfaatvrije thermische energiewinning met BioPhree’.

In dit rapport wordt de technische en financiële haalbaarheid van de drie winnende inzendingen onderzocht om beter te kunnen beoordelen of deze meekoppelkans daadwerkelijk verzilverd kan worden. Daarbij wordt antwoord gegeven op de volgende onderzoeksvragen:

- in hoeverre zijn de drie afzonderlijke technieken drijvende mosselbak, BioPhree en bioreactor in combinatie met een TEO-installatie technisch en financieel haalbaar? Wat is de maatschappelijke toegevoegde waarde?
- in hoeverre kunnen de winnende ideeën elkaar versterken of zijn er combinaties te maken met andere inzendingen die het idee kunnen versterken?

### 1.2 AANPAK

Om de haalbaarheid en toepasbaarheid van de P-verwijderingssystemen te beoordelen wordt een maatschappelijke waardebeoordeling (value case) uitgevoerd. Voor de uitwerking worden de ingezonden ideeën getoetst aan de hand van verschillende criteria; de mate waarin elke kans verzilverd kan worden zal namelijk sterk verschillen tussen TEO-initiatieven. In dit rapport wordt hierover geen beoordeling gegeven, maar worden de haalbaarheid van de ingebrachte ideeën getoetst en randvoorwaarden voor toepassing geformuleerd. Door een pragmatische

<sup>1</sup> Voor meer informatie over aquathermie inclusief TEO, zie ook o.a. STOWA rapporten 2017-35, 2020-37 en 2021-14.

<sup>2</sup> <https://www.winnovatie.nl/challenge/warmte-winnen-en-fosfor-verwijderen-uit-oppervlaktewater-twee-vliegen-in-een-klap>



systeemgerichte aanpak vanuit meerdere disciplines worden de kansen en aandachtspunten voor de drie ideeën in beeld gebracht.

### 1.2.1 MAATSCHAPPELIJKE WAARDEBEPALING

Voor elk van de drie winnende inzendingen wordt een afzonderlijke maatschappelijke waardebeoordeling uitgevoerd. De uitwerking betreft vooral een kwalitatieve case, hoewel bepaalde aspecten (zoals kosten en afvalproductie) ook gekwantificeerd worden. De toetsing wordt uitgevoerd aan de hand van met name maatschappelijke kosten en baten, waaronder de P-verwijderingsprestaties en het voorkomen van negatieve effecten op aspecten als leefomgeving, milieu en afvalproductie. De haalbaarheid zal onder meer afhangen van de kenmerken van de TEO-installatie (capaciteit/debiet), de beschikbare ruimte op de beoogde locatie (zowel op land als de ruimte die in het oppervlaktewater beschikbaar is) en de ecologische gevoeligheid van het watersysteem.

Na het uitvoeren van de individuele waardebeoordelingen wordt ook beoordeeld of er een meerwaarde te creëren is door combinatie tussen inzendingen, en wordt onderzocht of bij de overige inzendingen ideeën aanwezig zijn die een of meerdere van de winnende ideeën kunnen versterken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van informatie in de beschrijvingen van de ideeën en een gezamenlijk overleg met de begeleidingsgroep. De focus ligt hierbij op de punten waar de drie ideeën zwakker zijn bevonden in de waardebeoordelingen, maar we verkennen ook of er goed scorende elementen zijn die verder versterkt kunnen worden.

### 1.2.2 TOETSINGSCRITEIA

Voor de uitwerking van de maatschappelijke waardebeoordeling zijn de volgende twaalf toetsingscriteria gehanteerd. Een uitgebreide beschrijving en inschaling van de criteria is te vinden in hoofdstuk 2.1:

1. het systeem verlaagt de concentratie P in het ingenomen water significant;
2. 1a: het systeem verlaagt de concentratie ortho-P in het ingenomen water significant (kwantitatieve beoordeling);
3. 1b: het systeem verlaagt de concentratie gesuspendeerd P in het ingenomen water significant (kwantitatieve beoordeling);
4. het systeem heeft geen nadelige invloed op de warmtewinning door het TEO-systeem (kwalitatieve beoordeling);
5. het ruimtebeslag van het systeem voor P-verwijdering is beperkt (kwantitatieve beoordeling);
6. de onderhoudsbehoefte van het systeem voor P-verwijdering is beperkt (kwantitatieve beoordeling);
7. toegepaste grondstoffen zijn herbruikbaar (kwalitatieve beoordeling);
8. afvalproductie per behandeld watervolume is lager dan bij traditionele zuiveringstechnieken (kwantitatieve beoordeling);
9. het systeem gebruikt geen chemicaliën die milieuschade kunnen veroorzaken (kwalitatieve beoordeling);
10. het systeem verbruikt weinig energie in relatie tot de energieopbrengst uit de TEO-installatie (kwantitatieve beoordeling);
11. de kosten voor P-verwijdering met het systeem zijn lager dan reguliere kosten voor P-verwijdering (kwantitatieve beoordeling);
12. het systeem brengt geen milieuvreemde stoffen in het water (kwalitatieve beoordeling);
13. het systeem voor P-verwijdering brengt geen aanvullende schade toe aan flora en fauna (kwalitatieve beoordeling);
14. geogste fosfor kan worden hergebruikt (kwalitatieve beoordeling).

### 1.2.3 UITGANGSPUNTEN EN AANNAMES

Bij de uitwerking worden de ideeën afzonderlijk op haalbaarheid en effectiviteit getoetst; er wordt geen beoordeling of onderlinge vergelijking van de ideeën gemaakt. Wel wordt onderzocht waar ideeën elkaar kunnen versterken. Voor de toetsing van de haalbaarheid en efficiëntie van de ingezonden ideeën is gebruik gemaakt van informatie aangeleverd door de initiatiefnemers. Voor verschillende toetsingscriteria is vanuit de inzenders geen informatie beschikbaar gesteld en is gebruik gemaakt van openbaar beschikbare informatie. Vanwege de grote variatie in beschikbaar gestelde informatie is in de waardebeoordelingen meermaals geen gedetailleerde analyse gemaakt, maar vooral een grofstoffelijke inschatting aan de hand van de bandbreedte uit de aangeleverde en gevonden onderzoeken.

Voor de toetsing is onder andere gebruik gemaakt van drie referentie TEO-installaties, gebaseerd op al gerealiseerde projecten. Om te beoordelen welke verwijderingsprestaties haalbaar zijn met de getoetste technieken worden deze referentiecasses uitgewerkt bij een vaste referentiewaterkwaliteit. Als referentietechnologie voor de verwijdering van P is gekozen voor chemische defosfatering. De gebruikte aannames en uitgangspunten zijn verder toegelicht in hoofdstuk 2.

## 1.3 LEESWIJZER

Dit rapport beschrijft de maatschappelijke waardebeoordeling (value case) voor de drie winnaars van de STOWA innovatie challenge “TEO en P-verwijdering”. Voor de uitwerking is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van informatie verkregen via de inzenders, waar nodig ondersteund door informatie uit eigen referentieprojecten en openbaar beschikbare informatie.

In hoofdstuk 2 worden eerst de uitgangspunten toegelicht die gebruikt zijn voor de uitwerking van de maatschappelijke waardebeoordeling van de drie winnende ideeën (value cases). Voor de beoordeling van de haalbaarheid is gebruik gemaakt van criteria aangeleverd door STOWA, welke verder gespecificeerd en geschaald zijn. Verder worden in hoofdstuk 2 de technologische uitgangspunten benoemd voor de referentie-TEO-installaties en traditionele P-verwijdering (chemische defosfatering).

Hoofdstuk 3, 4 en 5 vormen de kern van dit rapport, en bevatten de uitwerking van de maatschappelijke waardebeoordeling voor de drie winnende ideeën: BioPhree (hoofdstuk 3), Nutreact bioreactor (hoofdstuk 4), en drijvende mosselbak (hoofdstuk 5). Hier wordt nadrukkelijk geen onderlinge vergelijking gemaakt, maar bepaald onder welke randvoorwaarden de technologieën toepasbaar en haalbaar zijn.

In hoofdstuk 6 wordt beoordeeld of er een extra meerwaarde bereikt kan worden door de winnende ideeën te combineren met elkaar of met overige inzendingen.

Tot slot bevat hoofdstuk 7 de conclusie en aanbevelingen.

# 2

## UITGANGSPUNTEN VOOR DE VALUE CASES

### 2.1 UITWERKING CRITERIA

Voor de uitwerking van de maatschappelijke waardebeoordeling zijn toetsingscriteria gehanteerd, gebaseerd op de onderzoeksvragen in de uitvraag van STOWA. De definitie van deze criteria is in samenspraak, tijdens overleggen met de begeleidingsgroep, verder uitgewerkt tot onderstaande lijst. Voor elk criterium is een schaal opgesteld waarin de scores worden ingedeeld; in deze uitwerking weegt elk criterium even zwaar. Op basis van de volgende kleurcodering worden de resultaten in een tabel inzichtelijk gemaakt en samengevat in afbeelding 3.3, afbeelding 4.2 en afbeelding 5.3:

- laagste score - rood;
- één-na-laagste - oranje;
- gemiddeld - geel;
- één-na-hoogste - lichtgroen;
- hoogste - donkergroen.

#### **CRITERIUM 1: HET SYSTEEM VERLAAGT DE CONCENTRATIE P IN HET INGENOMEN WATER SIGNIFICANT**

De verwijdering van fosfor (P) is het doel van de winnovatie challenge en daarmee het belangrijkste criterium voor de beoordeling van de inzendingen. Het criterium heeft betrekking op de verlaging van de concentratie aan totaal P in het oppervlaktewater. De streefwaarde (voor totaal P) in het behandelde oppervlaktewater bedraagt maximaal 0,03 mg P/l, bij een P-concentratie hoger dan 0,05 mg P/l bestaat het risico op blauwalgbloei.

P is zowel in gesuspendeerde als in opgeloste vorm aanwezig in oppervlaktewater. De verhouding tussen gesuspendeerd en opgelost P verschilt tussen meetlocaties en in de tijd. Beide vormen van P stellen verschillende eisen aan de methode voor P-verwijdering:

- gesuspendeerd P is over het algemeen te verwijderen via processen zoals bezinking, eventueel bevorderd met behulp van een coagulant en/of flocculant;
- bij de opgeloste P-fractie wordt met name gekeken naar anorganisch ortho-P, dat biologisch beschikbaar is (voor biomassa-groei). Ortho-P wordt makkelijker verwijderd met behulp van biologische processen (omzetting in biomassa).

Bij de beoordeling van de inzendingen bekijken we de totale P-verwijdering tussen het punt van waterinname voor het systeem voor P-verwijdering en de inlaat van de TEO-installatie.

#### ***Criterion 1a: het systeem verlaagt de concentratie ortho-P in het ingenomen water significant***

In de beoordeling wordt specifiek gekeken naar reductie van de P-concentratie in het ingenomen water, dus het verschil tussen de onttrekking en het uitlaatwater van de TEO-installatie. Voor het scoren van de verwijdering van ortho-P wordt de volgende schaal gehanteerd (van lage naar hoge score):

- geen afname;
- beperkte afname (< 25 %);
- matige afname (25 - 50 %);

- sterke afname (50 - 75 %);
- zeer sterke afname (> 75 %).

***criterium 1b: het systeem verlaagt de concentratie gesuspendeerd P in het ingenomen water significant***

In de beoordeling wordt specifiek gekeken naar reductie van de P-concentratie in het ingenomen water, dus het verschil tussen de onttrekking en het uitlaatwater van de TEO-installatie. Voor het scoren van de verwijdering van gesuspendeerd P wordt de volgende schaal gehanteerd (van lage naar hoge score):

- geen afname;
- beperkte afname (< 25 %);
- matige afname (25 - 50 %);
- sterke afname (50 - 75 %);
- zeer sterke afname (> 75 %).

**CRITERIUM 2: HET SYSTEEM HEEFT GEEN NADELIGE INVLOED OP DE WARMTEWINNING DOOR HET TEO-SYSTEEM**

Het toevoegen van een extra verwijderingsstap kan een mogelijke negatieve invloed hebben op de werking van het TEO-systeem, bijvoorbeeld doordat de drukval verhoogd wordt. Mogelijke positieve invloeden kunnen zijn: een verhoging van de temperatuur of een vermindering van biofouling, en dus verhoging van het rendement van de TEO-installatie. Voor het beoordelen van de invloed van de innovaties op de warmtewinning door het TEO-systeem wordt de volgende schaal gehanteerd (van lage naar hoge score):

- systeem voor P-verwijdering heeft een sterk nadelig effect op de warmtewinning door het TEO-systeem;
- systeem voor P-verwijdering heeft een mild nadelig effect op de warmtewinning door het TEO-systeem;
- systeem voor P-verwijdering heeft geen effect op de warmtewinning;
- systeem voor P-verwijdering heeft een mild positief effect op de warmtewinning door het TEO-systeem;
- systeem voor P-verwijdering heeft een sterk positief effect op de warmtewinning door het TEO-systeem.

**CRITERIUM 3: HET RUIMTEBESLAG VAN HET SYSTEEM VOOR P-VERWIJDERING IS BEPERKT**

De haalbaarheid van een toegevoegd systeem voor P-verwijdering kan afhankelijk zijn van de locatie. Bij een combinatie met een kleine TEO-installatie in stedelijk gebied is ruimtebeslag een groter probleem dan bij een grote installatie in het buitengebied. Voor het beoordelen van het ruimtebeslag (in m<sup>2</sup>) van de technologie in relatie tot het TEO-systeem wordt de volgende schaal gehanteerd (van lage naar hoge score):

- veel groter ruimtebeslag dan de TEO-installatie (> 100 % meer);
- groter ruimtebeslag dan de TEO-installatie (> 50 % meer);
- vergelijkbaar ruimtebeslag als de TEO-installatie;
- kleiner ruimtebeslag dan de TEO-installatie (< 50 %);
- veel kleiner ruimtebeslag dan de TEO-installatie (< 10 %).

**CRITERIUM 4: DE ONDERHOUDSBEHOEFTE VAN HET SYSTEEM VOOR P-VERWIJDERING IS BEPERKT**

Het is belangrijk dat de ingezonden innovatie weinig extra onderhoud vergt ten opzichte van alleen de TEO-installatie. Dit geldt voor het systeem dat het oppervlaktewater zuivert, maar kan ook een positief effect zijn op het optreden van biofouling in de warmtewisselaar van de

TEO-installatie en daarmee het onderhoud daarvan. Voor het beoordelen van de onderhoudsbehoefte van de extra installatie wordt de volgende schaal gehanteerd (van lage naar hoge score):

- totale onderhoudsbehoefte van TEO + P-verwijdering is beduidend hoger dan de onderhoudsbehoefte van een zelfstandige TEO-installatie (> 50 % hoger);
- totale onderhoudsbehoefte van TEO + P-verwijdering is hoger dan de onderhoudsbehoefte van een zelfstandige TEO-installatie (> 25 % hoger);
- totale onderhoudsbehoefte van TEO + P-verwijdering is vergelijkbaar aan de onderhoudsbehoefte van een zelfstandige TEO-installatie;
- totale onderhoudsbehoefte van TEO + P-verwijdering is lager dan de onderhoudsbehoefte van een zelfstandige TEO-installatie (> 25 % lager);
- totale onderhoudsbehoefte van TEO + P-verwijdering is beduidend lager dan de onderhoudsbehoefte van een zelfstandige TEO-installatie (> 50 % lager).

#### **CRITERIUM 5: TOEGEPASTE GRONDSTOFFEN ZIJN HERBRUIKBAAR**

Het is goed mogelijk dat de ingediende technologie gebruik maakt van schaarse grondstoffen, voor bijvoorbeeld regeneratie, extra nutriënten, etc. Bij voorkeur worden zo min mogelijk schaarse grondstoffen gebruikt, en is hergebruik van grondstoffen op ruime schaal toepasbaar. Voor het beoordelen van de toepassing/hergebruik van schaarse grondstoffen wordt de volgende schaal gehanteerd (van lage naar hoge score):

- er worden veel schaarse grondstoffen gebruikt en er is weinig hergebruik mogelijk;
- er worden veel schaarse grondstoffen gebruikt maar er is veel hergebruik mogelijk;
- er worden weinig schaarse grondstoffen gebruikt maar er is weinig hergebruik mogelijk;
- er worden weinig schaarse grondstoffen gebruikt en er is veel hergebruik mogelijk;
- er worden geen schaarse grondstoffen gebruikt.

#### **CRITERIUM 6: AFVALPRODUCTIE PER BEHANDELD WATERVOLUME IS LAGER DAN BIJ TRADITIONELE ZUIVERINGSTECHNIKEN**

STOWA heeft de wens geuit dat de toegepaste technologie voor P-verwijdering bij voorkeur tenminste 80 % minder afval produceert in vergelijking tot traditionele zuiveringstechnieken. In de waardebeoordeling wordt chemische defosfatering als referentietechnologie gebruikt voor P-verwijdering (zie paragraaf 2.4 Referentietechnologie). Voor het beoordelen van de afvalproductie wordt de volgende schaal gehanteerd (van lage naar hoge score):

- veel hogere afvalproductie (> 80 % hoger) dan bij traditionele zuiveringstechnieken;
- hogere afvalproductie dan bij traditionele zuiveringstechnieken;
- vergelijkbare afvalproductie met traditionele zuiveringstechnieken;
- lagere afvalproductie dan bij traditionele zuiveringstechnieken;
- veel lagere afvalproductie (> 80 % lager) dan bij traditionele zuiveringstechnieken.

#### **CRITERIUM 7: HET SYSTEEM GEBRUIKT GEEN CHEMICALIËN DIE MILIEUSCHADE KUNNEN VEROORZAKEN**

In een TEO-installatie zelf worden geen chemicaliën gebruikt. Incidenteel wordt ammoniak gebruikt, maar dit wordt hergebruikt. Eventueel gebruik van (chemische) schoonmaakmiddelen in de TEO-installatie wordt wellicht zelfs verminderd door toevoeging van een techniek die extra P verwijderd uit het aanvoerwater (verminderde biofouling). Voor het beoordelen van het chemicaliëngebruik wordt de volgende schaal gehanteerd (van lage naar hoge score):

- er worden schadelijke chemicaliën toegepast die vrij komen;
- er worden schadelijke chemicaliën toegepast, maar er komen weinig chemicaliën vrij in het milieu;

- er worden schadelijke chemicaliën toegepast, maar vrijkomen in het milieu wordt voorkomen;
- er worden enkel bij onderhoud schadelijke chemicaliën toegepast, maar vrijkomen wordt geminimaliseerd;
- er worden geen chemicaliën toegepast die milieuschade kunnen veroorzaken.

#### **CRITERIUM 8: HET SYSTEEM VERBRUIKT WEINIG ENERGIE IN RELATIE TOT DE ENERGIEOPBRENGST UIT DE TEO-INSTALLATIE**

Om het energieverbruik te toetsen wordt het verbruik van het systeem vergeleken met de opbrengst van de TEO-installaties (in joules). Voor het beoordelen van het energieverbruik wordt de volgende schaal gehanteerd (van lage naar hoge score):

- energieverbruik is > 10 % van energieopbrengst van het gekoppelde TEO-systeem;
- energieverbruik is 5 - 10 % van energieopbrengst van het gekoppelde TEO-systeem;
- energieverbruik is 2 - 5 % van energieopbrengst van het gekoppelde TEO-systeem;
- energieverbruik is 1 - 2 % van energieopbrengst van het gekoppelde TEO-systeem;
- energieverbruik is < 1 % van energieopbrengst van het gekoppelde TEO-systeem.

#### **CRITERIUM 9: DE KOSTEN VOOR P-VERWIJDERING MET HET SYSTEEM ZIJN LAGER DAN REGULIERE KOSTEN VOOR P-VERWIJDERING**

Om de kosten van de innovaties in kaart te brengen worden deze vergeleken met een referentietechniek om P te verwijderen. In deze waardebeoordeling is een inschatting gemaakt van de kosten bij inzet van chemische defosfatering, waartegen de kosten van de innovaties worden gespiegeld. Voor het beoordelen van de kosten per eenheid verwijderde fosfor wordt de volgende schaal gehanteerd (van lage naar hoge score):

- kosten per eenheid verwijderde P zijn aanzienlijk hoger (> 100 % hoger) dan bij reguliere P-verwijdering;
- kosten per eenheid verwijderde P zijn hoger (> 50 % hoger) dan bij reguliere P-verwijdering;
- kosten per eenheid verwijderde P zijn vergelijkbaar met reguliere P-verwijdering;
- kosten per eenheid verwijderde P zijn lager (< 50 %) dan bij reguliere P-verwijdering;
- kosten per eenheid verwijderde P zijn aanzienlijk lager (< 10 %) dan bij reguliere P-verwijdering.

#### **CRITERIUM 10: HET SYSTEEM BRENGT GEEN MILIEUVREEMDE STOFFEN IN HET WATER**

Vergeleken met een systeem waar alleen gebruik gemaakt wordt van TEO mag de toevoeging van een P-verwijderingstechniek geen extra milieuvreemde stoffen in het water brengen. Voor het beoordelen van de inbreng van milieuvreemde stoffen wordt de volgende schaal gehanteerd (van lage naar hoge score):

- systeem voor P-verwijdering brengt vreemde stoffen in het milieu;
- systeem voor P-verwijdering brengt enkel bij onderhoud vreemde stoffen in het milieu;
- systeem voor P-verwijdering brengt geen vreemde stoffen in het milieu.

#### **CRITERIUM 11: HET SYSTEEM VOOR P-VERWIJDERING BRENGT GEEN AANVULLENDE SCHADE TOE AAN FLORA EN FAUNA**

Bij onttrekking en filtering van water treden mogelijk nadelige effecten op de ecologie op. Toename van dit effect door toepassing van een systeem voor P-verwijdering is niet wenselijk; vergeleken met een systeem waar alleen gebruik gemaakt wordt van TEO mag de toevoeging van een P-verwijderingstechniek geen extra schade toebrengen aan flora en fauna. Voor het beoordelen van aanvullende schade aan flora en fauna wordt de volgende schaal gehanteerd (van lage naar hoge score):

- gecombineerd systeem levert meer schade aan flora en fauna op dan TEO zonder P-verwijdering;
- de installatie voor P-verwijdering levert geen aanvullende schade;
- gecombineerd systeem levert minder schade aan flora en fauna op dan TEO zonder P-verwijdering.

#### CRITERIUM 12: GEOOGSTE FOSFOR KAN WORDEN HERGEBRUIKT

Hergebruik van geogst fosfor is nog moeilijk te beoordelen; hoewel dit in theorie mogelijk kan zijn is er nog geen markt voor de gevormde ‘producten’. Ook is in geen van de gevallen een zuivere vorm van P te winnen. De beoordeling zal daarom vooral gericht zijn op de theoretische mogelijkheid van hergebruik (van lage naar hoge score):

- geogst fosfor is niet geschikt voor hergebruik;
- vastgelegd fosfor maakt onderdeel uit van een combinatiestroom en is daardoor enkel geschikt voor hergebruik in specifieke toepassingen;
- geogst fosfor leent zich voor hergebruik in een breed spectrum van toepassingen.

## 2.2 REFERENTIECASES TEO-INSTALLATIE

Voor de maatschappelijke waardebeoordeling wordt gebruik gemaakt van drie referentie-TEO-installaties, gebaseerd op reeds gerealiseerde projecten in Nederland. Voor de waardebeoordeling wordt aangenomen dat het complete debiet behandeld wordt door de geschakelde techniek voor P-verwijdering.

### 2.2.1 SCHAALGROOTTES

Het overzicht van momenteel gerealiseerde aquathermieprojecten (NAT) in Nederland laat zien dat er een aantal zeer kleine projecten bestaat (1 - 5 woningen) en een groot aantal projecten binnen de categorie 100 - 400 woningen valt; veelal om een complex aan te sluiten (groot verzorgingshuis, pretpark met huisjes, gemeentelijke panden et cetera). De derde categorie heeft een omvang van circa 700 - 1.600 woningen en lijkt vooral kleine wijken te betreffen. In de bedrijfspraktijk van Witteveen+Bos komen we ook grotere projecten tegen.

Voor de koppeling met fosfaatafvang is de extreem kleine schaal (1 - 5 woningen) niet relevant omdat het geen investeringsruimte biedt. Bij dit schaalniveau is de hoeveelheid P die verwijderd kan worden disproportioneel klein ten opzichte van de extra investeringen die gedaan zouden moeten worden om P-verwijdering mogelijk te maken. De andere drie categorieën lijken wel relevant. Het voorstel is om hierbij uit te gaan van de volgende schaalgroottes:

TABEL 2.1 SCHAALGROOTTES VAN DRIE CATEGORIEËN TEO-INSTALLATIES GEBRUIKT VOOR DE UITWERKING VAN DE MAATSCHAPPELIJKE WAARDEBEPALING. GENOEMDE GETALLEN ZIJN INDICATIEF EN GEBASEERD OP EERDER UITGEVOERDE REFERENTIEPROJECTEN

	TEO middel	TEO middelgroot	TEO groot
omvang	250 WEQ	1.000 WEQ	4.000 WEQ
opgesteld vermogen* (opgesteld vermogen warmtepomp)	1,4 MW (0,3 MW WP)	5,5 MW (1,25 MW WP)	22 MW (5 MW WP)
geleverde warmte per jaar (GJ/jaar)	7.500	30.000	120.000
investeringskosten (EUR)**	600.000	1.500.000	3.800.000
debiet (m <sup>3</sup> /uur)	40	150	600

\* Inclusief redundantie.

\*\* Exclusief WK0.

In bovenstaand overzicht is ervan uitgegaan dat warmtepompen 80 % van de warmtevraag afdekken en de warmtepompen warmte leveren op circa 70°C (SCOP van circa 3,5). Deze aannames zijn gebaseerd op berekeningen vanuit een concreet project<sup>3</sup>. Benodigde debieten per WEQ zijn wel enigszins afhankelijk van de warmtewinning dus deze kunnen variëren. Desalniettemin is vooral het debiet belangrijk en wordt het overgrote deel van de TEO-projecten vertegenwoordigd in deze bandbreedte.

### 2.2.2 TOETSING REFERENTIECASES

Bij de uitwerking van onderstaande toetsingscriteria wordt vergeleken met een TEO-installatie zónder P-verwijdering:

- criterium 1: het systeem verlaagt de concentratie P in het ingenomen water significant;
- criterium 2: het systeem heeft geen nadelige invloed op de warmtewinning door het TEO-systeem;
- criterium 3: het ruimtebeslag van het systeem voor P-verwijdering is beperkt;
- criterium 4: de onderhoudsbehoefte van het systeem voor P-verwijdering is beperkt;
- criterium 8: het systeem verbruikt weinig energie in relatie tot de energieopbrengst uit de TEO-installatie;
- criterium 9: de kosten voor P-verwijdering met het systeem zijn lager dan reguliere kosten voor P-verwijdering;
- criterium 11: het systeem voor P-verwijdering brengt geen aanvullende schade toe aan flora en fauna;
- criterium 12: geoogste fosfor kan worden hergebruikt.

Voor criterium 6 (afvalproductie) wordt elke innovatie vergeleken met klassieke zuiveringstechnieken.

Voor de criteria 5, 7, 10, 11 en 12 is geen vergelijking met de referentietechnologie of TEO-installatie zonder P-verwijdering vereist.

## 2.3 WATERKWALITEIT

Om te beoordelen welke verwijderingsprestaties haalbaar zijn met de gekozen technieken worden bovenstaande referentiecasses uitgewerkt bij een vaste referentiewaterkwaliteit. Hier is gekozen voor een totaal-P-concentratie van 0,15 mg P/l (waarvan ortho-P 0,05 mg P/l) en een totaal N-concentratie van 1,6 mg/l.

Deze waterkwaliteit is gekozen op basis van de eisen voor Nederlandse oppervlaktewateren die omschreven zijn in de Kaderrichtlijn Water (KRW). Elk type oppervlaktewater heeft zijn eigen kwaliteitseisen en dus richtlijnen voor N en P; hier is gekozen voor een gemiddelde op basis van STOWA rapport 2018-47. In dit rapport worden de waterkwaliteitseisen voor 27 typen grote, natuurlijke wateren in Nederland toegelicht voor de periode 2021 - 2027. De beschreven maatlat omschrijft een classificatie in de categorieën ‘zeer goed’, ‘goed’, ‘matig’, ‘ontoereikend’ en ‘slecht’. In deze verkenning gaan we uit van een gemiddelde waterkwaliteit waar wel een doelstelling voor bestaat maar welke niet zeer eutroof is, d.w.z. een zoetwaterplas of meer (Type M12, M14, M20, M21, M23 of M27) in de klasse ‘matig’. Op basis van KRW data uit 2020 is ingeschat dat de fractie ortho-P gemiddeld 0,35 mg betreft per mg totaal-P (hoewel dit sterk varieert tussen verschillende gebieden).

3 Als referentie is een TEA-project gebruikt (warmte uit effluent) met een schaalgrootte van 4.000 WEQ bij een gemiddelde jaarlijkse warmtevraag van 30 GJ/WEQ (groot aandeel appartementen). Wanneer TEO gecombineerd wordt met een WKO dan zijn de warmteproductie, opgesteld vermogen van de warmtepomp, investering (excl. WKO) en debiet vergelijkbaar met TEA, waarmee deze referentie goed gebruikt kan worden.



## 2.4 REFERENTIETECHNOLOGIE P-VERWIJDERING

Als referentietechnologie voor de verwijdering van P is gekozen voor chemische defosfatering van oppervlaktewater. Bij de uitwerking van onderstaande toetsingscriteria is het van belang een inschatting te hebben hoe traditionele zuiveringstechnieken scoren:

- criterium 1: het systeem verlaagt de concentratie P in het ingenomen water significant;
- criterium 3: het ruimtebeslag van het systeem voor P-verwijdering is beperkt;
- criterium 6: afvalproductie per behandeld watervolume is lager dan bij traditionele zuiveringstechnieken;
- criterium 9: de kosten voor P-verwijdering met het systeem zijn lager dan reguliere kosten voor P-verwijdering.

Voor de criteria 2 (invloed op warmtewinning) en 4 (onderhoudsbehoefte) wordt elke innovatie vergeleken met een TEO-installatie zonder P-verwijderingsstap.

Voor de criteria 5, 7, 10-12 is geen vergelijking met de referentietechnologie vereist.

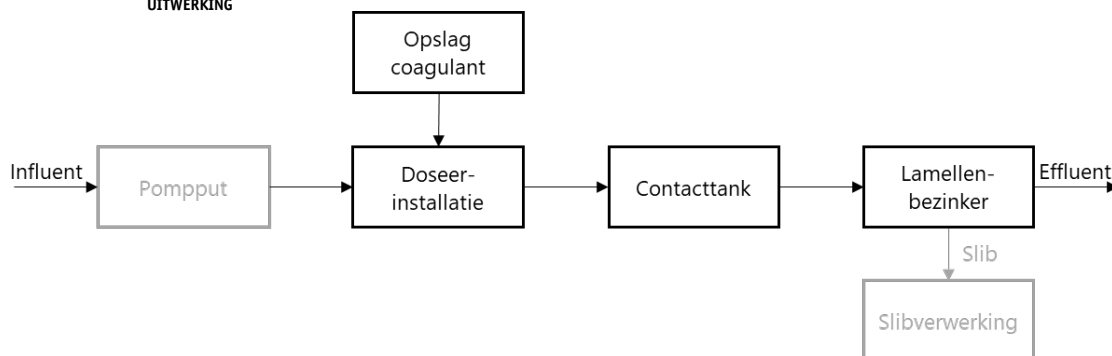
### BESCHRIJVING TECHNOLOGIE

De processen in een chemische defosfateringsinstallatie volgen over het algemeen de volgende stappen:

1. coagulantdoserering en menging;
2. vlokvorming;
3. vlokverwijdering in de vorm van een geforceerde sedimentatie met een lamellenafscheider of een bezinkbassin.

Om tot kentallen voor deze installatie te komen voor de drie debieten is gebruik gemaakt van referentieprojecten van Witteveen+Bos; het betreft globale inschattingen. De gebruikte getallen zijn te vinden in tabel 2.2; overige kentallen zijn afkomstig van STOWA rapport 2017-36. Hier wordt een chemische defosfatering met onderstaande onderdelen gebruikt als uitgangspunt (afbeelding 2.1).

AFBEELDING 2.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE REFERENTIETECHNOLOGIE: DEFOSFATERINGSINSTALLATIE. DE POMPPUT EN SLIBVERWERKING ZIJN NIET MEEGENOMEN IN DE UITWERKING



Als coagulant wordt meestal gebruik gemaakt van ijzer(III)chloride, ijzer(II)chloridesulfaat, aluminiumsulfaat of polyaluminiumchloride. De aluminiumzouten geven over het algemeen een betere vlokvorming, maar aluminiumslib is wellicht lastiger om af te zetten<sup>4</sup>. Hier is uitgegaan van ijzer(III)chloride, wat ook gebruikt wordt in de referentieprojecten. Bij een referentieconcentratie van 0,15 mg P/l waarvan 0,05 mg ortho-P/l wordt dan ca 3 mg Fe<sup>3+</sup>/l oftewel 8,9 mg/l ijzerchloride gedoseerd<sup>5</sup>.

4 Aluminiumchloride en aluminiumsulfaat staan sinds 19-01-2018 op de RIVM-lijst van potentieel zeer zorgwekkende stoffen.

5 Berekend op basis van STOWA 2017-46.

TABEL 2.2

GEBRUIKTE GETALLEN REFERENTIETECHNOLOGIE CHEMISCHE DEFOSFATERING. GENOEMDE GETALLEN ZIJN INDICATIEF EN GEBASEERD OP EERDER UITGEVOERDE REFERENTIEPROJECTEN

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
ruimtegebruik (m <sup>2</sup> )	40	65	160
ijzerdosering (kg Fe/j) <sup>6</sup>	1.100	3.900	15.800
slibproductie (kg ds/j)	2.600	9.900	39.400
OPEX (EUR/j)	15.400	21.500	46.900
ijzerdosering (EUR/j)	1.300	5.000	19.900
energieverbruik (EUR/j) <sup>7</sup>	100	500	2.000
onderhoud (EUR/j)	4.000	6.000	15.000
beheer (EUR/j)	10.000	10.000	10.000
investeringskosten (EUR)	410.000	710.000	1.660.000
totale kosten per jaar (EUR/j) <sup>8</sup>	37.000	59.000	134.000

### UITGANGSPUNTEN CHEMISCHE DEFOSFATERING

- een pompput is niet meegenomen in de kosten; we gaan er hiervan uit dat deze ook niet meegenomen is in de afzonderlijke inzendingen ofwel aanwezig is voor de TEO-installatie;
- er wordt uitgegaan van een installatie met lamellenbezinker. Bij een debiet van 40 of 150 m<sup>3</sup>/u is een zandfilter geen reële optie (wat betreft kosten). Hier is aangenomen dat met een lamellenbezinker voldoende bezinking van zwevende stof (en gebonden P) gerealiseerd kan worden;
- de kosten en benodigde energie voor slibverwerking zijn niet meegenomen in de uitwerking. In elk van de technieken zal slib gevormd worden, er wordt verondersteld dat de onderliggende verschillen in kosten niet onderscheidend zullen zijn. Hier is het belangrijk dat opslag van slib op de juiste manier gebeurt; indien anaeroob bewaard kan gebonden P weer vrijkomen als er veel organisch materiaal en sulfaat aanwezig is.

6 Aanname 2,5 kg ds/kg Fe tegen kosten van 1,26 EUR/kg Fe (STOWA 2017-46).

7 Aanname EUR 0,10/kWh (STOWA 2017-36). Hoewel energiekosten toegenomen zijn sinds vaststelling van deze getallen, vergemakkelijken deze wel de directe vergelijking met reeds uitgevoerde projecten. De kosten betreffen voornamelijk pompkosten.

8 Op basis van 2,5 % rente en afschrijving over 20 jaar.

# 3

## MAATSCHAPPELIJKE WAARDEBEPALING

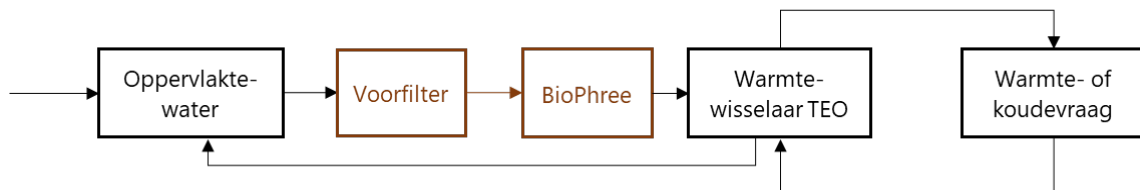
### BIOPHREE

#### 3.1 BESCHRIJVING VAN DE TECHNOLOGIE

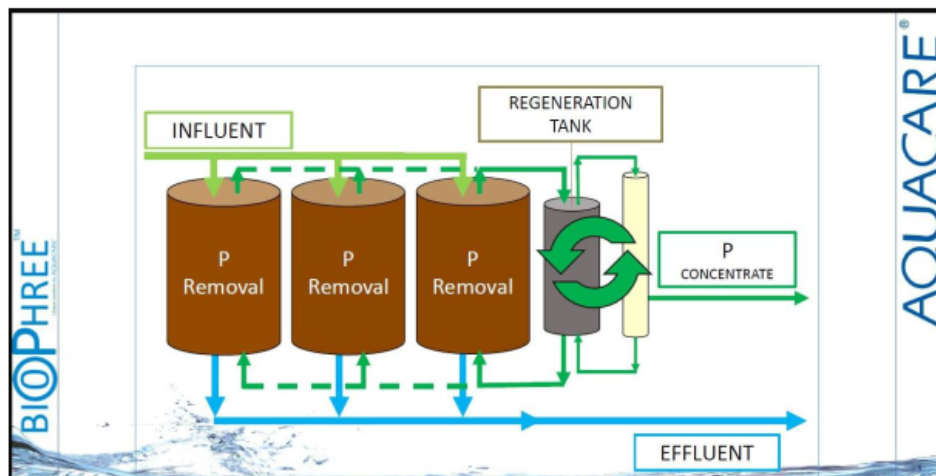
BioPhree is een adsorptietechnologie die ontwikkeld en gepatenteerd is door Aquacare. De technologie wordt nog verder doorontwikkeld. De techniek bestaat uit meerdere parallel geschakelde kolommen van 220 L, gevuld met adsorptiemateriaal specifiek gericht op ortho-P-verwijdering (hoewel andere stoffen zoals humuszuren en sulfaat ook kunnen adsorberen). Bij opschaling worden meer kolommen toegevoegd; het modulaire systeem is vergelijkbaar met onthardingstechnologie zoals gebruikt bij pompstation Spannenburg, waar zelfs 25 miljoen m<sup>3</sup>/jaar (2.853 m<sup>3</sup>/u) behandeld wordt.

Verschillende soorten adsorptiemateriaal zijn commercieel verkrijgbaar; Aquacare doet onderzoek naar de meest geschikte (er zit variatie in onder andere gewenste contacttijd, regenerereerbaarheid, affiniteit, adsorptiecapaciteit). De logische toepassing van BioPhree is vóór de TEO-installatie omdat zo biofouling voorkomen kan worden, wat een positieve uitwerking heeft op het onderhoud en de levensduur van de TEO-installatie (zie afbeelding 3.1 en afbeelding 3.2).

AFBEELDING 3.1 SCHEMATISCHE INPASSING BIOPHREE EN BIJBEHOREND VOORFILTER. DIT VERVANGT EEN EVENTUEEL VOORFILTER VAN DE TEO-INSTALLATIE ZELF. EVENTUELE WARMTE/KOUDE-OPSLAG IS NIET WEERGEGEVEN. DE CONFIGURATIE VAN HET BIOPHREE SYSTEEM ZELF IS TE ZIEN IN AFBEELDING 3.2



AFBEELDING 3.2 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE BIOPHREE, AANGELEVERD DOOR AQUACARE



Het BioPhree-systeem is stabiel en controleerbaar, gestuurd op druk; als een hoger behandelbaar debiet gewenst is, kunnen meer kolommen toegevoegd worden. De technologie is volledig geautomatiseerd, enkel bij het ophalen en vervangen van de regeneratievloeistof is menselijk handelen vereist. Standaard is een voorfilter (meestal een zandfilter of doekfilter) onderdeel van de technologie, om onopgeloste deeltjes te verwijderen. Het gebruikte filter is afhankelijk van de keuze van de klant; verschillende typen zijn commercieel verkrijgbaar. Met de BioPhree technologie is in pilotonderzoek een consistente effluentconcentratie behaald van < 20 µg totaal-P/l (in het gecombineerde effluent van drie parallel geschakelde kolommen). De verwijderingsefficiëntie is onderzocht op oppervlaktewater en rioolwaterzuivering-effluent tot 5 mg P/L, maar momenteel is nog onbekend wat de complete behandelbare reikwijdte van P-concentraties in het aanvoerwater is.

Het adsorptiemateriaal in de kolommen raakt geleidelijk aan verzadigd en kan per kolom geregenereerd (tot maximaal 90 %) worden terwijl de overige kolommen in bedrijf blijven. Hiervoor wordt een sterke base (loog) gebruikt, wat met behulp van een compressor vrijwel volledig weer uit de kolom verwijderd wordt voor hergebruik. Uit recente proeven blijkt volgens opgave van Aquacare dat het mogelijk is zo'n 3.000 bedvolumes (ongeacht ingaande concentraties<sup>9</sup>) te behandelen voordat regeneratie nodig is; een spoeling duurt 5 bedvolumes. Het is onbekend en afhankelijk van het type adsorptiemateriaal hoe vaak een kolom te regenereren is. De oplossing gebruikt voor regeneratie is veelvuldig te hergebruiken tot de oplossing verzadigd is met P (geschat wordt dat de vloeistof tegen de maximale oplosbaarheid van P aan zit). Als er geen verontreinigingen mee geadsorbeerd zijn kan P teruggewonnen worden uit de geconcentreerde stroom (met behulp van onder andere membraantechnologie) en gebruikt worden in de productie van bijvoorbeeld kunstmest. Deze optie is echter nog niet onderzocht door Aquacare zelf.

## 3.2 TOETSING

### 3.2.1 CRITERIUM 1: HET SYSTEEM VERLAAGT DE CONCENTRATIE P IN HET INGENOMEN WATER SIGNIFICANT

#### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Verwijdering van ortho-P (criterium 1a) is naar verwachting bij de 3 referentiedebieten hetzelfde; tot < 20 µg totaal-P/l in het gecombineerde effluent bij een maximale P-concentratie van 5 mg/l. Dit is volgens Aquacare onafhankelijk van het debiet; het systeem is gestuurd op druk. De technologie verwijdert zowel ortho-P als gesuspendeerd P, omdat een voorfilter onderdeel is van de installatie. Onopgelost P (criterium 1b) wordt waarschijnlijk al grotendeels verwijderd in het voorfilter. De keuze voor een bepaald type filter kan per locatie verschillen, maar is meestal een zandfilter in een kolom of een doekfilter. Gesuspendeerd P is dan niet terug te winnen, maar ortho-P wordt verwijderd in de adsorptiekolommen en is wel potentieel terug te winnen.

#### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Het behaalde totaal-P in het effluent bij 5 of 7,5 m<sup>3</sup>/u was 20 µg/l in de pilotonderzoeken. Aquacare verwacht dat dit bij opschaling niet verandert, wat betekent dat bij elk van de referentiecassussen (40, 150, 600 m<sup>3</sup>/u) 20 µg P/l in het effluent behaald zal worden. Bij een

9 In tegenstelling tot de opgave van Aquacare verwachten we dat hogere ingaande concentraties leiden tot een verlaging van het aantal bedvolumes dat behandeld kan worden. Hoe deze verhouding precies ligt, is onbekend. Een lager aantal te behandelen bedvolumes zal zich echter vertalen in noodzaak tot sneller regenereren en vervangen van het adsorptiemateriaal en daarmee doorwerken in de beoordeling in deze rapportage.

referentie P-concentratie van 0,15 mg P/l (waarvan ortho-P 0,05 mg P/l) is dat een afname van totaal-P van 87 % (zie tabel 3.1). Aquacare heeft niet gespecificeerd welke fractie hiervan uit ortho-P bestaat, maar geeft wel aan dat de verwijdering tot 20 µg P/l behaald wordt tot in elk geval ingaande concentraties van 5 mg P/l. In dat laatste geval is het Pverwijderingsrendement zelfs 99,6 %.

TABEL 3.1

P-VERWIJDERING DOOR BIOPHREE TECHNOLOGIE, INCLUSIEF VOORFILTER, OP BASIS VAN AANGELEVERDE BUSINESSCASE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
P-concentratie invoerwater (mg/l)	0,15	0,15	0,15
P-concentratie afvoer BioPhree (mg/l)	0,02	0,02	0,02
P verwijderd (mg/l)	0,13	0,13	0,13
percentage P verwijderd (%)	87	87	87
beoordeling criterium	zeer sterke afname (> 75 %)	zeer sterke afname (> 75 %)	zeer sterke afname (> 75 %)

### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 1

Volgens de schaal van dit criterium valt 87 % verwijdering in de hoogste beoordeling voor de drie referentiecassus (zeer sterke afname (> 75 %)).

### 3.2.2 CRITERIUM 2: HET SYSTEEM HEEFT GEEN NADELIGE INVLOED OP DE WARMTEWINNING DOOR HET TEO-SYSTEEM

#### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

In pilotonderzoeken lijkt de temperatuur toe te nemen met 1 - 2 °C. Dit is op labschaal aangetoond, en andere factoren (veranderende omgevingstemperatuur, pompenergie, etc.) zijn in die proeven uitgesloten door Aquacare. Op grotere schaal wordt nog geverifieerd welk mechanisme hieraan ten grondslag ligt.

#### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

De temperatuursverandering is nog niet geverifieerd, maar een negatieve invloed op de warmtewinning lijkt niet aannemelijk. Aangezien er water wordt verpompt, is een lichte temperatuurstijging niet verrassend, maar dit zou maximaal een paar tienden van een graad moeten zijn. De temperatuur blijft volgens Aquacare op zijn minst gelijk of wordt verhoogd, absoluut niet verlaagd.

### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 2

Volgens de schaal van dit criterium valt een mild positief effect op de warmtewinning in de één-na hoogste beoordeling voor de drie referentiecassus (positief effect op de warmtewinning). Dit effect is enkel aangetoond op labschaal, en wordt nog onderzocht op grotere schaal.

TABEL 3.2

BEOORDELING OP CRITERIUM 2 OP BASIS VAN AANGELEVERDE BUSINESSCASE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	mild positief effect	mild positief effect	mild positief effect

### 3.2.3 CRITERIUM 3: HET RUIMTEBESLAG VAN HET SYSTEEM VOOR P-VERWIJDERING IS BEPERKT

#### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Het ruimtegebruik is voornamelijk afhankelijk van het benodigde volume aan adsorptiemiddel. Dit is voor 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u respectievelijk 2, 7,5 en 30 m<sup>3</sup>. De inschatting is dat de totale benodigde ruimte met een factor 2,5 verhoogd wordt voor randapparatuur, inclusief regeneratiesysteem, wat voor de behandeling van 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u neer komt op 5, 19 en 75 m<sup>3</sup>, respectievelijk (zie tabel 3.3). Het regeneraat moet uiteindelijk wel afgevoerd worden; hier is geen rekening mee gehouden in deze uitwerking. Ter referentie; een defosfateringsinstallatie van 600 m<sup>3</sup>/u zal zo'n 160 m<sup>2</sup> in beslag nemen.

#### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Als uitgegaan wordt van de aangeleverde informatie, neemt de BioPhree naar schatting een oppervlakte in van 40, 50 en 70 m<sup>2</sup> bij een behandeld debiet van 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u. Een TEO-installatie neemt bij deze debieten een oppervlakte in van respectievelijk 160, 430 of 1.250 m<sup>2</sup>. Dit komt neer op een respectievelijk ruimtebeslag van 25, 12, en 6 % ten opzichte van de TEO-installatie geschikt voor het genoemde debiet.

TABEL 3.3

RUIMTEBESLAG VAN BIOPHREE IN RELATIE TOT DE TEO-INSTALLATIE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
ruimtebeslag TEO-installatie (m <sup>2</sup> )	160	430	1.250
ruimtebeslag BioPhree (m <sup>2</sup> ) <sup>10</sup>	40	50	70
ruimte BioPhree t.o.v. TEO (%)	25	12	6
beoordeling criterium	kleiner dan TEO (< 50 %)	kleiner dan TEO (< 50 %)	veel kleiner dan TEO (< 10 %)

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 3

Volgens de schaal van dit criterium valt het ruimtebeslag van de middel en middelgrote debieten in de één na hoogste beoordeling (< 50 %) en in de hoogste beoordeling (< 10 %) voor de grote TEO-installatie.

### 3.2.4 CRITERIUM 4: DE ONDERHOUDSBEHOEFTE VAN HET SYSTEEM VOOR P-VERWIJDERING IS BEPERKT

#### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Het onderhoud van de BioPhree installatie is onafhankelijk van het behandelde debiet, beheer wordt geschat op EUR 15.000/j. Bij de referentiedebieten en referentie P-concentratie is de verwachting dat het adsorptiemiddel na 7 jaar vervangen moet worden. Verder onderhoud omvat standaard onderhoud aan eventuele pompen en chemie aanvullen, en wordt door Aquacare geraamd op EUR 146.625 bij een debiet van 600 m<sup>3</sup>/u (zie ook tabel 3.4). Het onderhoud voor een TEO-installatie van die omvang wordt geraamd op circa EUR 114.000 per jaar, en respectievelijk EUR 44.000 en 18.000 voor middelgrote en middel TEO-installaties.

#### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Het onderhoud van BioPhree bij 150 en 40 m<sup>3</sup>/u is geschaald vanaf 600 m<sup>3</sup>/u volgens praktijkkennis, en wordt geraamd op EUR 58.650 en EUR 39.100 respectievelijk. De toepassing van BioPhree voorafgaand aan de TEO-installatie verwijdert P in een mate die hoogstwaarschijnlijk de hoeveelheid biofouling aanzienlijk zal verminderen. Dit heeft tot gevolg dat de onderhoudsbehoefte van de TEO-installatie positief beïnvloed wordt. Op basis van praktijk-

<sup>10</sup> Op basis van aangeleverde volumes door Aquacare en technologische praktijkkennis van Witteveen+Bos.

ervaring wordt verwacht dat een afname van onderhoud aan de TEO-installatie van 50% reëel is. In tabel 3.4 is te zien dat dit gezamenlijk ingeschat wordt als een vrij hoge onderhoudsbehoefte, alsnog hoger dan bij een TEO-installatie alleen.

TABEL 3.4 INSCHATTING VAN ONDERHOUDSBEHOEFTE VAN BIOPHREE IN RELATIE TOT DE TEO-INSTALLATIE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
onderhoud BioPhree (EUR/j)	39.100	58.650	146.625
onderhoud TEO (EUR/j)	18.000	44.000	114.000
verwacht minder onderhoud aan TEO bij combinatie (EUR/j)	9.000	22.000	57.000
totaal onderhoud bij combinatie BioPhree+TEO (EUR/j)	48.100	80.650	203.625
onderhoud BioPhree+TEO t.o.v. alleen TEO (%)	265	185	180
beoordeling criterium	beduidend hoger	beduidend hoger	beduidend hoger

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 4

Volgens de schaal van dit criterium valt een toename van minimaal 50 % extra bij combinatie van BioPhree en TEO in de laagste beoordeling (beduidend hoger dan de onderhoudsbehoefte van een zelfstandige TEO-installatie) voor de drie referentiecassussen.

### 3.2.5 CRITERIUM 5: TOEGEPASTE GRONDSTOFFEN ZIJN HERBRUIKBAAR

#### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

In de BioPhree technologie worden geen schaarse grondstoffen gebruikt. De voornaamste grondstof die verbruikt wordt is loog (1M NaOH) voor de regeneratie van het adsorptiemiddel, waarvan 0,7 l/m<sup>3</sup> nodig is (d.w.z. 1,4; 5,3 en 21 liter respectievelijk voor de installaties van 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u). De natronloogoplossing wordt hergebruikt tot verzadiging<sup>1</sup>; in de praktijk wordt de oplossing na circa 7 jaar vervangen. Aquacare hanteert momenteel 2 voorkeurstypes adsorptiemiddel, waaronder een opgewerkt product uit de drinkwaterindustrie. De toepassing in BioPhree is dus al hergebruikt. Het andere type is polymeer-gebaseerd en niet schadelijk; mogelijkheden voor hergebruik zijn nog niet onderzocht. Verschillende typen adsorptiemiddel zijn commercieel verkrijgbaar en afhankelijk van keuze/eisen.

#### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Zowel het adsorptiemiddel als het regeneratiemiddel (NaOH) worden hier niet beschouwd als schaarse grondstof. Andere grondstoffen worden niet gebruikt.

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 5

Volgens de schaal van dit criterium valt het niet gebruiken van schaarse grondstoffen in de hoogste beoordeling voor de drie referentiecassussen.

TABEL 3.5 BEOORDELING OP CRITERIUM 5 OP BASIS VAN AANGELEVERDE BUSINESSCASE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	geen gebruik	geen gebruik	geen gebruik

### 3.2.6 CRITERIUM 6: AFVALPRODUCTIE PER BEHANDELD WATERVOLUME IS LAGER DAN BIJ TRADITIONELE ZUIVERINGSTECHNIKEN

#### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Er worden drie soorten reststroom voorzien: P-verrijkte natronloogoplossing, geproduceerd slib (al dan niet in spoelwater) en opgebruikt adsorptiemiddel.

In zijn businesscase gaat Aquacare ervan uit dat de natronloogoplossing inzetbaar is om P terug te winnen voor de productie van bijvoorbeeld kunstmest; deze stroom wordt hier niet als afvalstroom beschouwd<sup>11</sup>.

Als een defosfateringsinstallatie wordt ingezet om de referentiedebieten te behandelen resulteert dit bij 0,05 mg ortho-P/l in een slibproductie van circa 2.800, 9.800 en 39.500 kg ds/jaar bij de referentiedebieten van respectievelijk 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u. Bij criterium 3 is reeds omschreven dat de BioPhree technologie bij deze debieten respectievelijk 2; 7,5 en 30 m<sup>3</sup> aan adsorptiemiddel verbruikt, wat elke 7 jaar vervangen moet worden.

#### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

##### *Slib*

Een chemische defosfateringsinstallatie heeft bij de genoemde referentiecases een slibproductie van 2,5 kg ds/kg Fe, wat met 3 g Fe/m<sup>3</sup> behandeld water neer komt op respectievelijk 1.100, 3.900 en 15.800 kg Fe/jaar (3 g Fe/m<sup>3</sup> of 8,9 g FeCl/m<sup>3</sup>, zie ook paragraaf 2.4 en tabel 3.6). De massa aan geproduceerd slib is naar verwachting lager bij BioPhree, omdat daar geen ijzerchloride (of andere hulpstof) wordt toegevoegd die in het slib terecht komt.

Er kan aangenomen worden dat in het voorfilter van de BioPhree ook slib geproduceerd wordt, waardoor het filter regelmatig teruggespoeld moet worden. Het spoelwater kan naar een rioolwaterzuivering gebracht worden, maar dit is niet meegenomen in de uitwerking door BioPhree. Echter heeft de TEO-installatie zelf ook een voorfilter, wat overbodig wordt bij toepassing van BioPhree. Het is niet aannemelijk dat het voorfilter van BioPhree meer slib en terugspoelwater genereert dan het 'standaard' voorfilter van de TEO-installatie.

##### *Adsorptiemateriaal*

Als het adsorptiemateriaal elke 7 jaar vervangen wordt, is dit 0,3; 1,1 en 4,2 m<sup>3</sup> adsorptiemateriaal per jaar voor 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u. Uitgaande van een soortelijke massa van 1 kg/l is dit met 300, 1.000 en 4.200 kg een afvalproductie van 0,86 g/m<sup>3</sup> behandeld water.

TABEL 3.6 VERBRUIK VAN IJZERCHLORIDE EN SLIBPRODUCTIE IN DE CHEMISCHE DEFOSFATERING BIJ 0,05 MG ORTHO-P/L, EN VERBRUIKT ADSORPTIEMATERIAAL IN DE BIOPHREE TECHNIEK

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
slibproductie defosfatering (kg ds/jaar)	2.800	9.800	39.500
toegevoegd ijzerchloride defosfatering (kg Fe/j)	1.100	3.900	15.800
aanname verbruikt adsorptiemateriaal BioPhree (kg/j)	300	1.000	4.200

11 De verwerking van de P-verrijkte natronloogoplossing is nog niet concreet uitgewerkt, en eventuele technologie voor de opwerking van deze stroom is geen onderdeel van de installatie. Na P-terugwinning is het resterende natronloog wellicht wel een afvalstroom.



### Conclusie

De slibproductie (exclusief ijzerchloride) kan tegen elkaar weggestreept worden, omdat dit gevormd wordt in zowel defosfatering als de beide voorfilters (TEO en BioPhree). In een chemische defosfateringsinstallatie wordt ca 8,9 g/m<sup>3</sup> ijzerchloride gedoseerd in het slib. In het BioPhree systeem kan ruwweg geschat worden dat 0,86 g/m<sup>3</sup> onbruikbaar adsorptiemateriaal geproduceerd wordt<sup>12</sup>. In massa is dit 90 % minder afval dan bij chemische defosfatering; zelfs als het gewicht van het adsorptiemateriaal dubbel zo hoog is komt dit op < 80 % uit. Het is dus aannemelijk dat BioPhree minder afval produceert dan de traditionele zuiveringstechnieken.

### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 6

Volgens de schaal van dit criterium valt 90 % minder afval in de hoogste beoordeling (< 80 %) voor de drie referentiecassen.

TABEL 3.7 BEOORDELING OP CRITERIUM 6 OP BASIS VAN AANGELEVERDE BUSINESSCASE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	veel lager (> 80 %)	veel lager (> 80 %)	veel lager (> 80 %)

### 3.2.7 CRITERIUM 7: HET SYSTEEM GEBRUIKT GEEN CHEMICALIËN DIE MILIEUSCHADE KUNNEN VEROORZAKEN

#### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Er worden geen chemicaliën gebruikt, behalve de basische loogoplossing voor regeneratie (zie ook criterium 5 en 6). Een deel van oplossing zit na een spoeling nog in de adsorptiekolom, maar wordt hier met behulp van een compressor uit geblazen. De eerste spoelingen over de kolom zijn daarna meer basisch dan normaal en gaan direct naar de opvangtank voor gecombineerd effluent. Als dit te basisch blijft kan dit licht aangezuurd worden.

#### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

De gebruikte NaOH komt bij correct functioneren niet vrij in het milieu; eventueel basisch effluent wordt eerst geneutraliseerd. Mocht er toch loog toch vrijkomen in het milieu dan zal dit waarschijnlijk niet in zulke volumes zijn dat het milieuschade kan toebrengen. De verwachting is dat er geen chemicaliën worden toegepast die milieuschade kunnen veroorzaken.

### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 7

Volgens de schaal van dit criterium valt het niet gebruiken van milieuschadelijke chemicaliën in de hoogste beoordeling voor de drie referentiecassen.

TABEL 3.8 BEOORDELING OP CRITERIUM 7 OP BASIS VAN AANGELEVERDE BUSINESSCASE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	niet toegepast	niet toegepast	niet toegepast

12 0,3; 1,1 en 4,2 m<sup>3</sup> adsorptiemateriaal per jaar met een aangenomen massa van 1 kg/l; bij een debiet van 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u.

### 3.2.8 CRITERIUM 8: HET SYSTEEM VERBRUIKT WEINIG ENERGIE IN RELATIE TOT DE ENERGIEOPBRENGST UIT DE TEO-INSTALLATIE

#### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Aquacare heeft voor BioPhree een businesscase uitgewerkt voor een debiet van 625 m<sup>3</sup>/u (15.000 m<sup>3</sup>/d); dit debiet is vergelijkbaar met de referentiecasse van een grote TEO-installatie (600 m<sup>3</sup>/u). Bij behandeling van 625 m<sup>3</sup>/u is een energieverbruik voorzien van 150.000 kWh/j voor de BioPhree en een extra 54.750 kWh/j voor de voorfiltratie (in dit geval een doekfilter). Aangenomen wordt dat het energieverbruik van het voorfilter weggestreept kan worden tegen het voorfilter van een TEO-installatie. De hoeveelheid verbruikte energie is onafhankelijk van de P-concentratie in het behandelde water. De energie-impact van de productie van natronloog, uitgedrukt in de GER-waarde<sup>13</sup>, is 1,6 GJ per m<sup>3</sup> 1M natronloog.

Een TEO-installatie van 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u levert respectievelijk 7.500, 30.000 en 120.000 GJ per jaar (zie paragraaf 2.2.1).

#### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Het BioPhree systeem exclusief voorfilter verbruikt 150.000 kWh/j, oftewel 540 GJ/j (zie ook tabel 3.9). Dit energieverbruik is lineair geschaald voor de andere debieten, omdat dit voornamelijk energieverbruik door de pomp betreft. Het energieverbruik van de BioPhree bij een middel en middelgrote TEO-installatie komt neer op 36 en 135 GJ/j. Hierbij is de GER-waarde van natronloog opgeteld, wat neerkomt op respectievelijk 4,3; 16,3 en 64 GJ bij een debiet van 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u. Bij een energieopbrengst van 7.500, 30.000 en 120.000 GJ/j komt dit komt voor de drie referentiecasses neer op een energieverbruik van 0,5 % van de (thermische) opbrengst van de TEO-installatie.

Dit energieverbruik kan in werkelijkheid nog lager uitvallen dan in de businesscase van Aquacare beschreven staat. Het grootste deel van de beschreven OPEX bestaat uit elektriciteitskosten voor de pomp; een combinatie met een TEO-installatie en dus al gedeeltelijke inzet van die pompcapaciteit resulteert in een lager gecombineerd energieverbruik. Daarnaast vervangt het voorfilter van de BioPhree een eventueel voorfilter van de TEO-installatie<sup>14</sup>.

TABEL 3.9 ENERGIEVERBRUIK VAN BIOPHREE IN RELATIE TOT DE ENERGIEOPBRENGST VAN DE TEO-INSTALLATIE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
geleverde warmte door TEO (GJ/j)	7.500	30.000	120.000
verbruikte energie door BioPhree (kWh/j)	10.000	37.500	150.000
verbruikte energie door BioPhree (GJ/j)	40	150	600
energie verbruikt BioPhree t.o.v. opgewekt door TEO (%)	0,5	0,5	0,5
beoordeling criterium	< 1 % van opbrengst TEO	< 1 % van opbrengst TEO	< 1 % van opbrengst TEO

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 8

Volgens de schaal van dit criterium valt een score van 0,5 % in de hoogste beoordeling (< 1 %) voor de drie referentiecassussen.

<sup>13</sup> Gross Energy Requirement, de bruto primaire energie.

<sup>14</sup> Energiekosten verschillen per type filter, met name door verschil in druk. Hier wordt echter aangenomen dat die verschillen niet onderscheidend zijn.

### 3.2.9 CRITERIUM 9: DE KOSTEN VOOR P-VERWIJDERING MET HET SYSTEEM ZIJN LAGER DAN REGULIERE KOSTEN VOOR P-VERWIJDERING

#### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Aquacare heeft voor BioPhree een businesscase uitgewerkt voor P-verwijdering bij een concentratie van 1 mg P/l. In de businesscase voor BioPhree wordt uitgegaan van een debiet van 625 m<sup>3</sup>/u; dit debiet is vergelijkbaar met de referentiecasi met een grote TEO-installatie (600 m<sup>3</sup>/u). Bij behandeling van 625 m<sup>3</sup>/u is berekend dat de OPEX en CAPEX van BioPhree per jaar uitkomen op de getallen in tabel 3.10.

Omdat het voorfilter van de BioPhree een eventueel voorfilter van de TEO-installatie vervangt, kunnen deze kosten worden bespaard in de TEO-installatie; deze worden hier dus niet meegenomen<sup>15</sup>. In de businesscase van BioPhree is uitgegaan van slibafvoer; deze kosten worden hier ook niet meegenomen omdat slibafvoer voor elk van de technieken, inclusief defosfatering, benodigd is en vergelijkbaar geacht wordt. In deze uitwerking wordt ook geen rekening gehouden met eventuele opbrengsten van teruggewonnen P. Tot slot wordt in de OPEX de onderhoudskosten buiten beschouwing gelaten om dubbel telling te voorkomen, omdat deze afzonderlijk worden behandeld bij criterium 4 (zie 3.2.4 en tabel 3.4). De kosten van BioPhree worden vergeleken met de kosten van chemische defosfatering, welke weergegeven zijn in tabel 3.11 (zie ook paragraaf 2.4). Deze kosten berusten op aannames uit eerdere referentieprojecten en betreffen dus een grofstoffelijke inschatting.

#### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Op basis van de aangeleverde informatie zijn de kosten per behandelde m<sup>3</sup> en per verwijderde P berekend bij toepassing van BioPhree (zie tabel 3.10). In dit rapport wordt een referentiewaterkwaliteit gehanteerd van 0,15 mg P/l, welke door BioPhree gereduceerd wordt tot 0,02 mg P/l (0,13 mg/l verwijderd). Dit komt neer op EUR 2.424, 1.069 of 583 per kg verwijderde P bij 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u respectievelijk.

Omwillen van de waardebeoordeling is ook berekend wat de kosten zijn bij de hogere P-concentraties, volgens de aanname dat de kosten onafhankelijk zijn van P-concentraties maar hydraulisch gestuurd zijn. Dan is te zien dat de kosten per verwijderde kg P sterk variëren afhankelijk van de gekozen ingaande concentratie.

TABEL 3.10 KOSTENINSCHATTING BIOPHREE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
CAPEX (EUR/j)	94.000	162.600	380.000
OPEX (EUR/j)	16.100	20.000	35.000
chemicaliën (EUR/j)	350	1.250	5.000
energieverbruik (EUR/j)	750	3.750	15.000
beheer (EUR/j)	15.000	15.000	15.000
<b>totale kosten per jaar exclusief onderhoud (EUR/j)</b>	<b>110.100</b>	<b>182.600</b>	<b>415.000</b>
kosten per behandelde m <sup>3</sup> (EUR)	0,31	0,14	0,08
kosten per verwijderde kg P bij 0,15 mg P/l (EUR)	2.415	1.070	585
kosten per verwijderde kg P bij 1 mg P/l (EUR)	320	141	77
kosten per verwijderde kg P bij 5 mg P/l (EUR)	63	28	15

15 Kosten verschillen per type filter, hier wordt echter aangenomen dat die verschillen niet onderscheidend zijn.

Bij een chemische defosfateringsinstallatie van 40, 50 of 600 m<sup>3</sup>/u komen de kosten uit op EUR 0,11, 0,04 of 0,03 per behandelde m<sup>3</sup> bij een P-concentratie van 0,15 mg/l. Dit komt neer op EUR 925, 395 of 220 per kg verwijderde P bij 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u respectievelijk (zie tabel 3.11).

**TABEL 3.11 KOSTENINSCHATTING CHEMISCHE DEFOSFATERING**

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
CAPEX (EUR/j)	21.000	36.400	85.100
OPEX (EUR/j)	11.400	15.500	31.900
chemicaliën (EUR/j)	1.300	5.000	19.900
energieverbruik (EUR/j)	100	500	2.000
beheer (EUR/j)	10.000	10.000	10.000
totale kosten per jaar exclusief onderhoud (EUR/j)	32.400	51.900	117.000
kosten per behandelde m <sup>3</sup> (EUR)	0,09	0,04	0,02
kosten per verwijderde kg P bij 0,15 mg P/l (EUR)	925	395	220

Als deze gegevens naast elkaar worden gezet (zie tabel 3.12) blijkt dat de kosten voor BioPhree zo'n 2,5 maal hoger zijn dan bij chemische defosfatering. Hier dient opgemerkt te worden dat er zeer grote verschillen bestaan in kosten, die afhankelijk zijn van de ingaande P-concentratie. Dit is ook recent gepubliceerd in een review met economische analyse; hier blijkt heel sterk dat adsorptietechnieken over het algemeen veel goedkoper zijn dan chemische coagulatie bij een verlaging tot zeer lage P-concentraties<sup>16</sup>. In deze rapportage is ervan uitgegaan dat chemische defosfatering realistisch gezien ingezet kan worden voor een verlaging tot 0,05 mg P/l, terwijl BioPhree volgens opgave van Aquacare kan worden ingezet voor een reductie tot 0,02 mg P/l. Tijdens de uitvoering van deze studie zijn geen data aangeleverd over kosten en haalbaarheid van een verlaging tot 0,05 mg P/l met behulp van BioPhree. Een directe onderlinge vergelijking is daarmee niet mogelijk.

Bij het voorbeeld van 1 mg P/l zouden de kosten van een chemische defosfatering toenemen (hogere ijzerdosering) en de kosten per verwijderde P bij BioPhree afnemen. Bij 1 mg P/l zijn de kosten voor BioPhree per verwijderde kg P 80 - 90 % lager dan bij 0,15 mg P/l en is de techniek relatief wellicht meer rendabel. Uitgedrukt per m<sup>3</sup> blijft BioPhree echter 3 - 4 maal duurder dan chemische defosfatering. Deze kosten lijken met name in het onderhoud te zitten.

**TABEL 3.12 KOSTENVERGELIJKING TUSSEN BIOPHREE EN CHEMISCHE DEFOSFATERING BIJ EEN REFERENTIEWATERKWALITEIT VAN 0,15 MG P/L, WAARVAN 0,05 MG ORTHO-P/L**

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
kosten BioPhree (EUR/kg P)	2.415	1.070	585
kosten defosfatering (EUR/ kg P)	925	395	220
kosten BioPhree per verwijderde P t.o.v. defosfatering (%)	260	270	265
kosten BioPhree (EUR/m <sup>3</sup> )	0,31	0,14	0,08
kosten defosfatering (EUR/m <sup>3</sup> )	0,09	0,04	0,02
kosten BioPhree per m <sup>3</sup> t.o.v. defosfatering (%)	345	350	400
beoordeling criterium	aanzienlijk hoger	aanzienlijk hoger	aanzienlijk hoger

<sup>16</sup> Adsorption as a technology to achieve ultra-low concentrations of phosphate: Research gaps and economic analysis. P. S. Kumar, L. Korving, M.C.M. van Loosdrecht, G.J. Witkamp. Water research X, 2019, 100029.

**BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 9**

Volgens de schaal van dit criterium valt een aanzienlijke hogere prijs per verwijderde kg P in de laagste beoordeling voor de referentiecasses. Deze beoordeling is nog wel onzeker en sterk afhankelijk van de ingaande en gewenste uitgaande P-concentratie.

**3.2.10 CRITERIUM 10: HET SYSTEEM BRENGT GEEN MILIEUVREEMDE STOFFEN IN HET WATER****BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM**

Aquacare geeft aan dat er geen milieuvreemde stoffen vrijkomen uit de gebruikte adsorptie-middelen of tijdens gebruik van de technologie.

**BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM**

Volgens de schaal van dit criterium valt het niet vrijkomen van milieuvreemde stoffen in de hoogste beoordeling voor de drie referentiecassussen.

TABEL 3.13

BEOORDELING OP CRITERIUM 10 OP BASIS VAN AANGELEVERDE BUSINESSCASE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	geen vreemde stoffen	geen vreemde stoffen	geen vreemde stoffen

**3.2.11 CRITERIUM 11: HET SYSTEEM VOOR P-VERWIJDERING BRENGT GEEN AANVULLENDE SCHADE TOE AAN FLORA EN FAUNA****BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM**

Het effect op flora en fauna zal naar verwachting niet anders zijn dan bij toepassing van TEO. In beide technologieën wordt gebruik gemaakt van een voorfilter en mechanische bewerkingen zoals pompen.

**OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING**

Het BioPhree systeem brengt geen nieuwe factoren in ten opzichte van de al aanwezige TEO-installatie. Daarnaast kan het verlagen van P-concentraties de waterkwaliteit aanzienlijk verbeteren en algenbloei voorkomen, wat een positief effect kan hebben op lokale flora en fauna. Het effect op waterkwaliteit is groter bij een hoger behandeld debiet, en uiteraard afhankelijk van de schaalgrootte t.o.v. het volume oppervlaktewater.

**BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM**

Volgens de schaal van dit criterium valt het verminderen van de schade aan flora en fauna in de hoogste beoordeling voor de drie referentiecassussen.

TABEL 3.14

BEOORDELING OP CRITERIUM 11 OP BASIS VAN AANGELEVERDE BUSINESSCASE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	minder schade	minder schade	minder schade

**3.2.12 CRITERIUM 12: GEOOGSTE FOSFOR KAN WORDEN HERGEBRUIKT****BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM**

Fosfaat komt beschikbaar als zeer geconcentreerde oplossing, in de buurt van de maximale oplosbaarheid van PO<sub>4</sub>. Vanuit Aquacare zijn er ideeën voor het valoriseren van deze P-rijke oplossing, maar dit is nog niet verder uitgewerkt, waardoor het theoretische mogelijkheden blijven. Genoemde mogelijkheden voor valorisatie zijn precipitatie met calcium of opwerking

met nanofiltratie. De P-verbindingen die in de voorfiltratie verwijderd worden, worden verwerkt als onderdeel van het slib.

### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Teruggewonnen P kan mogelijk verwerkt worden tot waardevolle nieuwe grondstof, maar daar kan op basis van beschikbare informatie alleen op basis van inschatting een beoordeling aan gegeven worden. Technisch gezien lijkt gewonnen P terug te winnen; commercieel gezien is er nog geen (grote of duidelijke) markt voor. Omdat het een vrij geconcentreerde en relatief schone stroom lijkt te zijn heeft de valorisatie wel perspectief en is dit mogelijk toepasbaar in een breed spectrum van toepassingen.

### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM

Volgens de schaal van dit criterium valt geoogst fosfor dat mogelijk breed toepasbaar is in de hoogste beoordeling voor de drie referentiecassen<sup>17</sup>.

TABEL 3.15

BEOORDELING OP CRITERIUM 12 OP BASIS VAN AANGELEVERDE BUSINESSCASE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	breed toepasbaar	breed toepasbaar	breed toepasbaar

### 3.3 CONCLUSIE

BioPhree is een veelbelovende techniek die met weinig ruimtebeslag en weinig chemicaliën-gebruik een hoog P-verwijderingsrendement kan realiseren.

Afbeelding 3.3 geeft een samenvatting van de score op de verschillende toetsingscriteria. Het systeem en adsorptiemateriaal kunnen worden aangepast aan de gewenste omstandigheden en debieten. Hoewel de techniek gericht is op terugwinnen van ortho-P, wordt ook gesuspendeerd P grotendeels verwijderd (maar is dan niet terug te winnen). Het lijkt toepasbaar op een breed scala aan oppervlaktewateren met een toepassingsbereik van in elk geval 0,1 mg P/l tot 5 mg P/l. Door de stabiele eindconcentratie van 0,02 mg P/l is dit een zeer geschikt systeem om in te zetten in kwetsbare gebieden of bij relatief hoge P-concentraties.

De inzet van BioPhree heeft een meerwaarde op bijna alle criteria, waar vooral de relatief hoge kosten er als minpunt uit springen. Echter, een groot deel van de kosten is afhankelijk van de pompen (zowel investering als onderhoud) en het gebruik van het voorfilter. Zowel de pompinstallatie als het voorfilter zijn al aanwezig bij een TEO-installatie, waardoor deze kosten lager kunnen worden. Het is aannemelijk dat er nog wel extra pompcapaciteit nodig is voor het koppelen van de BioPhree installatie aan de TEO-installatie, maar naar verwachting is dit minder dan een op zichzelf functionerend BioPhree-systeem. Om de kosten voor onderhoud en investering goed te kunnen splitsen is een uitgebreidere beoordeling inclusief schets- of voorontwerp nodig, wat niet haalbaar is binnen deze opdracht. Het is echter aannemelijk dat de kosten uiteindelijk lager uitvallen voor de combinatie dan hier blijkt.

Aandachtspunten bij inzet van BioPhree zijn verder de fractieverdeling van P, en de mogelijkheid tot hergebruik van geoogst fosfor. Eerdere onderzoeken door Aquacare in onder andere de VS hebben aangetoond dat het systeem vooral een meerwaarde heeft bij een hoge hoeveelheid opgelost P. Als er veel gesuspendeerd P of andere onopgeloste deeltjes aanwezig zijn komt een groot deel van de belasting neer op het voorfilter en niet op de

<sup>17</sup> Echter met de kanttekening dat valorisatie nog hypothetisch is.

BioPhree. Verder is nog niet bekend hoe het teruggewonnen P kan worden hergebruikt. Het onderzoeken van deze mogelijkheden valt buiten de scope van deze waardebeoordeling, maar is wel belangrijk om de meerwaarde op fosforhergebruik goed te kunnen inschatten.

AFBEELDING 3.3 SAMENVATTING VAN DE SCORE VAN BIOPHREE OP DE TOETSINGSCRITEERIA. DE KLEUREN ZIJN INDICATIEF VOOR DE SCORE OP DE 12 TOETSINGSCRITEERIA: LAAGSTE SCORE - ROOD; ÉÉN-NA-LAAGSTE - ORANJE; GEMIDDELD - GEEL; ÉÉN-NA-HOOGSTE - LICHTGROEN; HOOGSTE - DONKERGROEN

BIOPHREE Criteria	TEO middel 250 WEQ   40 m <sup>3</sup> /u	TEO middelgroot 1.000 WEQ   150 m <sup>3</sup> /u	TEO groot 4.000 WEQ   600 m <sup>3</sup> /u
1a ortho-P	> 75%	> 75%	> 75%
1b gesuspendeerd P	> 75%	> 75%	> 75%
2 invloed warmtewinning	mild positief effect	mild positief effect	mild positief effect
3 ruimtebeslag	< 50%	< 50%	< 10%
4 onderhoudsbehoefte	beduidend hoger	beduidend hoger	beduidend hoger
5 schaarse grondstoffen	geen gebruik	geen gebruik	geen gebruik
6 afvalproductie	veel lager < 80%	veel lager < 80%	veel lager < 80%
7 chemicaliën	geen gebruik	geen gebruik	geen gebruik
8 energie	< 1% van opbrengst	< 1% van opbrengst	< 1% van opbrengst
9 kosten/verwijderde kg P	beduidend hoger	beduidend hoger	beduidend hoger
10 milieuvreemde stoffen	geen gebruik	geen gebruik	geen gebruik
11 flora en fauna	minder schade	minder schade	minder schade
12 fosfor hergebruik	breed toepasbaar	breed toepasbaar	breed toepasbaar

## 4

# MAATSCHAPPELIJKE WAARDEBEPALING

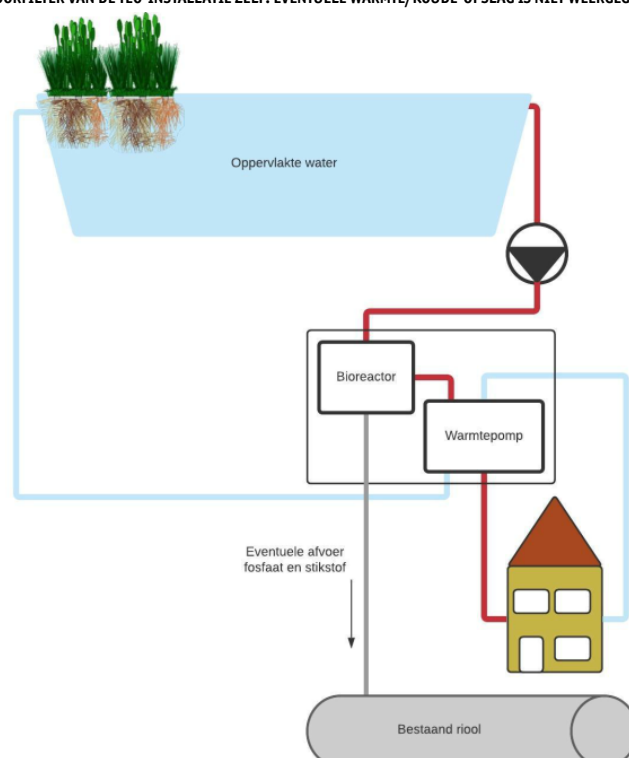
## NUTREACT

### 4.1 BESCHRIJVING VAN DE TECHNOLOGIE

Met als voornaamste doel de bestrijding van blauwalg hebben de bedrijven Avecom en Dutch Water Tech gezamenlijk de Nutreact bioreactor ontworpen. Deze verlaagt de fosfaat- en stikstofconcentraties zonder het toevoegen van schadelijke stoffen aan het water. De bioreactor is voorzien van een biologisch afbreekbare ‘cartridge’ welke vervangen kan worden. Deze cartridge bevat specifieke P-accumulerende micro-organismen die gestimuleerd worden om nutriënten te verwijderen tot zeer lage restconcentraties. Dit resulteert in een slijmachtige substantie welke gebruikt kan worden als biomassa, of chemisch gescheiden kan worden om de fosfor terug te winnen waarmee kunstmest gemaakt kan worden. Echter, deze techniek is nog niet dusdanig ontwikkeld dat dit momenteel economisch haalbaar wordt geacht.

Een mogelijke andere optie voor het afvoeren van fosfor en stikstof is via het bestaande afvalwaterriool. Met deze methode zal ook minder onderhoud gevraagd worden van de installatie waardoor kosten verder gereduceerd kunnen worden. Deze mogelijkheid zal vooral aantrekkelijk zijn in stedelijke gebieden waarbij ruimte schaars is. De logische toepassing van de bioreactor is vóór de TEO-installatie omdat zo biofouling voorkomen kan worden, wat een positieve uitwerking heeft op het onderhoud en de levensduur van de TEO-installatie (zie afbeelding 4.1).

AFBEELDING 4.1 SCHEMATISCHE INPASSING BIOREACTOR EN DRIJVENDE EILANDEN, AANGELEVERD DOOR AVECOM EN DUTCH WATER TECH. DIT VERVANGT EEN EVENTUEEL VOORFILTER VAN DE TEO-INSTALLATIE ZELF. EVENTUELE WARMTE/KOUDE-OPSLAG IS NIET WEERGEGEVEN





Biomassagroei, en daarmee opname van N en P, wordt geoptimaliseerd door het toevoegen van een organische koolstofbron, die biologisch is van oorsprong, niet toxisch en niet vervuילend. Als koolstofbron voor de P-accumulerende bacteriën is het mogelijk om gebruik te maken van azijnzuur (acetaat).

De bioreactorinstallatie heeft een eigen pomp, welke ingebouwd wordt in dezelfde ruimte (in het pilotontwerp een 20 ft container). De reactor kan zowel boven- als ondergronds worden geïnstalleerd; daarmee wordt dit niet gezien als een probleem in de ruimtelijke indeling van een bebouwd gebied. Standaard is een voorfilter onderdeel van de technologie, om onopgeloste deeltjes te verwijderen, hiervoor zijn verschillende filters commercieel verkrijgbaar. Door de bioreactor te combineren met een TEO-installatie kan optimaal gebruik gemaakt worden van de pompinstallatie. De bioreactor kan een maximaal debiet van 40 m<sup>3</sup>/u aan; wanneer de benodigde capaciteit voor de warmtevraag hoger zal zijn kunnen meerdere bioreactoren parallel geïnstalleerd worden. Als alternatief kan een bypass gebruikt worden om een gedeelte van het water langs de bioreactor te leiden; in deze uitwerking wordt echter aangenomen dat het complete debiet behandeld wordt.

Bij de inzending van de Nutreact bioreactor wordt ook voorgesteld om drijvende eilanden in te zetten gemaakt van bamboe (zie ook afbeelding 4.1). Deze eilanden verwijderen door de wortels enige nutriënten en stimuleren de biodiversiteit ter plaatse. Ze zijn echter geen onderdeel van het P-verwijderingsconcept dat gekoppeld wordt aan de TEO-installatie en zijn daarom ook niet meegenomen in deze uitwerking.

## 4.2 TOETSING

### 4.2.1 CRITERIUM 1: HET SYSTEEM VERLAAGT DE CONCENTRATIE P IN HET INGENOMEN WATER SIGNIFICANT

#### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

De Nutreact technologie richt zich op het verwijderen van biobeschikbare nutriënten tot zeer lage restniveaus. De technologie maakt hiervoor gebruik van specifieke P-accumulerende micro-organismen die gestimuleerd worden om nutriënten te verwijderen tot zeer lage restconcentraties. Er wordt gestuurd op een totaal N-concentratie van < 0,1 mg N/l en een totaal P-concentratie van 10 µg P/l. Deze waarden zijn aangetoond in kleinschalige pilotproeven (120 m<sup>3</sup>), en opgenomen in een betrouwbaar rapport van Avecom. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen P-fracties. Als onderdeel van de installatie wordt gebruik gemaakt van een voorfilter, welke grotere deeltjes en gesuspendeerd P al verwijdert (waarmee P verwijderd in het voorfilter niet terug te winnen is). In theorie is elk debiet haalbaar; bij een verhoging van debiet of concentratie kunnen meerdere reactoren in parallel geschakeld worden.

#### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Het behaalde totaal-P in het effluent was 10 µg/l in de pilotonderzoeken. Nutreact BV verwacht dat dit bij opschaling niet verandert, wat betekent dat bij de referentiecassus (40, 150, 600 m<sup>3</sup>/u) allen 0,01 mg P/l in het effluent behaald zal worden. Hierbij dient opgemerkt te worden dat dit een zeer lage P-concentratie is. Bij een referentie P-concentratie van 0,15 mg P/l (waarvan ortho-P 0,05 mg P/l) is dat een afname van totaal-P van 93 %. Er is niet gespecificeerd welke fractie hiervan uit ortho-P bestaat, of binnen welke range P verwijderd kan worden. In het voorstel wordt benoemd dat 0,01 mg/l altijd het streven is, en dat bijgestuurd wordt door extra toediening van koolstofbron of opschaling van het systeem.

TABEL 4.1

P-VERWIJDERING DOOR DE NUTREACT BIOREACTOR, INCLUSIEF VOORFILTER, OP BASIS VAN AANGELEVERDE BUSINESSCASE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
P-concentratie invoerwater (mg/l)	0,15	0,15	0,15
P-concentratie afvoer bioreactor (mg/l)	0,01	0,01	0,01
P verwijderd (mg/l)	0,14	0,14	0,14
percentage P verwijderd (%)	93	93	93
beoordeling criterium	zeer sterke afname (> 75 %)	zeer sterke afname (> 75 %)	zeer sterke afname (> 75 %)

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 1

Volgens de schaal van dit criterium valt 93 % verwijdering in de hoogste beoordeling voor de drie referentiecassus (zeer sterke afname (> 75 %)).

#### 4.2.2 CRITERIUM 2: HET SYSTEEM HEEFT GEEN NADELIGE INVLOED OP DE WARMTEWINNING DOOR HET TEO-SYSTEEM

##### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Tijdens de pilotonderzoeken is geen significant effect op temperatuur geobserveerd.

##### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Omdat gebruik gemaakt wordt van pompen (die warmte genereren) én er sprake is van enige microbiële groei is het aannemelijk dat er eerder een stijging dan een daling van de temperatuur plaatsvindt. Een temperatuurstijging door warmteontwikkeling in de pompen zal naar verwachting echter slechts maximaal enkele tienden van een graad zijn.

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 2

Volgens de schaal van dit criterium valt geen aantoonbaar effect op de warmtewinning in de middelste beoordeling voor de drie referentiecassus (geen invloed op de warmtewinning).

TABEL 4.2

BEOORDELING OP CRITERIUM 2 OP BASIS VAN AANGELEVERDE BUSINESSCASE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	geen invloed	geen invloed	geen invloed

#### 4.2.3 CRITERIUM 3: HET RUIMTEBESLAG VAN HET SYSTEEM VOOR P-VERWIJDERING IS BEPERKT

##### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

De technologie is intrinsiek schaalbaar van kleine tot zeer grote volumes. Bij opschaling is de meest effectieve variant om meerdere reactoren parallel te plaatsen. Door Avecom en Dutch Water Tech wordt een volume verwacht van 30, 100 en 400 m<sup>3</sup> voor enkel de bioreactoren.

##### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Op basis van praktijkkennis is een inschatting gemaakt van het benodigde oppervlak (zie tabel 4.3). Dit is waarschijnlijk minimaal zo groot als bij een chemische defosfateringsinstallatie, maar wellicht groter. In deze uitwerking wordt een ruimtebeslag vergelijkbaar met chemische defosfatering aangehouden. Als uitgegaan wordt van de aangeleverde informatie, neemt de bioreactor naar schatting een oppervlakte in van 40, 65 of 160 m<sup>2</sup> bij een behandeld debiet van 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u. Een TEO-installatie neemt bij deze debieten

een oppervlakte in van respectievelijk 160, 430 of 1.250 m<sup>2</sup>. Dit komt neer op een respectievelijk ruimtebeslag van 25, 15, en 13 % ten opzichte van de TEO-installatie geschikt voor het genoemde debiet. Ter referentie; een defosfateringsinstallatie van 600 m<sup>3</sup>/u zal zo'n 160 m<sup>2</sup> in beslag nemen.

TABEL 4.3 RUIMTEBESLAG VAN DE BIOREACTOR IN RELATIE TOT DE TEO-INSTALLATIE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
ruimtebeslag TEO-installatie (m <sup>2</sup> )	160	430	1.250
ruimtebeslag bioreactor (m <sup>2</sup> ) <sup>18</sup>	40	65	160
ruimte bioreactor t.o.v. TEO (%)	25	15	13
beoordeling criterium	kleiner dan TEO (< 50 %)	kleiner dan TEO (< 50 %)	kleiner dan TEO (< 50 %)

### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 3

Volgens de schaal van dit criterium valt het ruimtebeslag in de een-na-hoogste beoordeling voor de drie referentiecassus (kleiner dan TEO-installatie (< 50 %)).

#### 4.2.4 CRITERIUM 4: DE ONDERHOUDSBEHOEFTE VAN HET SYSTEEM VOOR P-VERWIJDERING IS BEPERKT

##### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Door Avecom en Dutch Water Tech is ingeschat dat het onderhoud en beheer met name betrekking heeft op standaard functioneren van de installatie, onderhoud van filters/pompen, aanvullen koolstofbron en oogsten van biomassa. Daadwerkelijke kosten zijn hiervoor niet gespecificeerd, maar kunnen grofweg geraamd worden op basis van praktijkkennis. Het onderhoud voor een TEO-installatie van die omvang wordt geraamd op circa EUR 18.000, EUR 44.000 en EUR 114.000, voor een TEO-installatie van respectievelijk 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u.

##### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Het onderhoud van de bioreactor(en) bij 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u is grofweg gebaseerd op praktijkkennis. Volgens opgave van Avecom en Dutch Water Tech zijn de onderhoudskosten niet lineair met de grootte van de installatie, maar nemen de onderhoudskosten relatief gezien af met toenemende installatiegrootte. De jaarlijkse kosten worden door de inzender geraamd op EUR 2.500, EUR 6.300 en EUR 17.000 respectievelijk.

De toepassing van de bioreactor voorafgaand aan de TEO-installatie verwijdert P in een mate die hoogstwaarschijnlijk de hoeveelheid biofouling zal verminderen. Dit heeft tot gevolg dat de onderhoudsbehoefte van de TEO-installatie positief beïnvloed wordt. Op basis van praktijkervaring wordt verwacht dat een afname van onderhoud aan de TEO-installatie van 50 % reëel is. Hierbij wordt wel aangenomen dat er geen sprake is van overdosering van azijnzuur. Een overmaat azijnzuur zou namelijk zorgen voor een toename van biofouling. De onderhoudskosten van de combinatie tussen de Nutreact bioreactor en de TEO-installatie worden daarmee voor de drie referentiedebieten 35 % lager geschat dan het onderhoud van een TEO-installatie alleen (tabel 4.4).

<sup>18</sup> Op basis van aangeleverde volumes door Nutreact BV en technologische praktijkkennis van Witteveen+Bos.

TABEL 4.4 INSCHATTING VAN ONDERHOUDSBEHOEFTE VAN DE NUTREACT BIOREACTOR IN RELATIE TOT DE TEO-INSTALLATIE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
onderhoud bioreactor (EUR/j)	2.500	6.300	17.000
onderhoud TEO (EUR/j)	18.000	44.000	114.000
verwacht minder onderhoud bij combinatie (EUR/j)	9.000	22.000	57.000
totaal onderhoud bij combinatie bioreactor+TEO (EUR/j)	11.500	28.300	74.000
onderhoud bioreactor+TEO t.o.v. alleen TEO (%)	65	65	65
beoordeling criterium	lager dan TEO alleen	lager dan TEO alleen	lager dan TEO alleen

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 4

Volgens de schaal van dit criterium valt een onderhoudsbehoefte van tussen 25 en 50 % lager dan een zelfstandige TEO-installatie in de een-na-hoogste beoordeling voor de drie referentiecassen.

#### 4.2.5 CRITERIUM 5: TOEGEPASTE GRONDSTOFFEN ZIJN HERBRUIKBAAR

##### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

In de Nutreact technologie worden geen schaarse grondstoffen gebruikt. De voornaamste grondstoffen die gebruikt worden zijn azijnzuur en het dragermateriaal. Avecom en Dutch Water Tech geven aan dat per jaar 5.000, 18.000 en 74.000 kg azijnzuur per jaar gebruikt wordt bij 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u. Het dragermateriaal moet wel afgevoerd worden. Er wordt tot nu toe gebruik gemaakt van een batchstelsel waar een deel van dragermateriaal periodiek vervangen wordt. Het is niet bekend over welke grondstoffen dit gaat, en hoe veel.

##### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Zowel het azijnzuur als het dragermateriaal worden hier niet beschouwd als schaarse grondstof. Andere grondstoffen worden niet gebruikt.

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 5

Volgens de schaal van dit criterium valt het niet gebruiken van schaarse grondstoffen in de hoogste beoordeling voor de drie referentiecassen.

TABEL 4.5 BEOORDELING OP CRITERIUM 5 OP BASIS VAN AANGELEVERDE BUSINESSCASE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	geen gebruik	geen gebruik	geen gebruik

#### 4.2.6 CRITERIUM 6: AFVALPRODUCTIE PER BEHANDELD WATERVOLUME IS LAGER DAN BIJ TRADITIONELE ZUIVERINGSTECHNIKEN

##### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Er worden twee soorten reststroom voorzien: geproduceerde biomassa en het dragermateriaal. In hun businesscase gaan Avecom en Dutch Water Tech ervan uit dat de biomassa P-rijk is en ingezet kan worden om P terug te winnen voor de productie van bijvoorbeeld kunstmest; deze stroom wordt hier niet als afvalstroom beschouwd<sup>19</sup>. Over het dragermateriaal is niet bekend hoe lang het mee gaat.

<sup>19</sup> Hiervoor is nog geen concrete uitwerking, en eventuele technologie voor de opwerking van deze stroom is geen onderdeel van de installatie.

### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Er kan aangenomen worden dat in het voorfilter van de bioreactor ook slib geproduceerd wordt, waardoor het filter regelmatig teruggespoeld moet worden. Het spoelwater kan naar een rioolwaterzuivering gebracht worden, maar dit is niet meegenomen in de uitwerking door Avecom en Dutch Water Tech. Echter heeft de TEO-installatie zelf ook een voorfilter, wat volgens de inzenders overbodig wordt bij toepassing van de Nutreact bioreactor. Het is niet aannemelijk dat zo'n voorfilter van de bioreactor meer slib en terugspoelwater genereert dan het 'standaard' voorfilter van de TEO-installatie.

De slibproductie (exclusief ijzerchloride) kan tegen elkaar weggestreept worden, omdat dit gevormd wordt in zowel defosfatering als de voorfilters van de TEO-installatie, BioPhree en Nutreact bioreactor.

Als de geproduceerde biomassa uit de bioreactor inderdaad beschouwd kan worden als waardevolle grondstoffenstroom, is het totaal aan geproduceerd slib waarschijnlijk minder dan in een chemische defosfateringsinstallatie. Hier wordt echter geen onderscheid in gemaakt in de aangeleverde informatie van Avecom en Dutch Water Tech; de aanname is dat 2.555, 9.125 of 36.500 kg ds geproduceerd wordt bij een debiet van 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>, respectievelijk (zie tabel 4.6). Als rekening gehouden wordt met afval afkomstig van dragermateriaal is het aannemelijk dat de totale afvalproductie vergelijkbaar is met traditionele zuiveringstechnieken.

**TABEL 4.6** VERBRUIK VAN IJZERCHLORIDE EN SLIBPRODUCTIE IN DE CHEMISCHE DEFOSFATERING EN DE NUTREACT BIOREACTOR BIJ 0,15 MG P/L, WAARVAN 0,05 MG/L ORTHO-P

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
slibproductie defosfatering (kg ds/jaar)	2.800	9.800	39.500
toegevoegd ijzerchloride defosfatering (kg Fe/j)	1.100	3.900	15.800
slibproductie bioreactor (kg ds/jaar)	2.555	9.125	36.500
beoordeling criterium	vergelijkbaar	vergelijkbaar	vergelijkbaar

### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 6

Volgens de schaal van dit criterium valt vergelijkbare afvalproductie in de een-na-laagste beoordeling (vergelijkbare afvalproductie) voor de drie referentiecassus.

#### 4.2.7 CRITERIUM 7: HET SYSTEEM GEBRUIKT GEEN CHEMICALIËN DIE MILIEUSCHADE KUNNEN VEROORZAKEN

##### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Er worden geen chemicaliën gebruikt, behalve azijnzuur als koolstofbron voor biomassagroei.

### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Azijnzuur wordt door de micro-organismen in de reactor gebruikt als koolstofbron, dus deze zal bij normaal functioneren niet in het milieu terecht kunnen komen. Zelfs als er restanten vrijkomen, dan zal dit waarschijnlijk niet in zulke volumes zijn dat het milieuschade kan toebrengen.

In plaats van een organische koolstofbron te doseren, zou kunnen geopteerd worden voor een aangepast microbieel proces lopend op on-site geproduceerd waterstofgas. Dit vermijdt het gebruik van azijnzuur in het proces. Anderzijds moeten de investerings- en veiligheids-

aspecten van dergelijke variant mee in rekening worden gebracht. In de aangeleverde informatie wordt geen rekening gehouden met deze variant.

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 7

Volgens de schaal van dit criterium valt het niet gebruiken van milieuschadelijke chemicaliën in de hoogste beoordeling voor de drie referentiecassen.

TABEL 4.7

BEOORDELING OP CRITERIUM 7 OP BASIS VAN AANGELEVERDE BUSINESSCASE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	niet toegepast	niet toegepast	niet toegepast

#### 4.2.8 CRITERIUM 8: HET SYSTEEM VERBRUIKT WEINIG ENERGIE IN RELATIE TOT DE ENERGIEOPBRENGST UIT DE TEO-INSTALLATIE

##### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Het energieverbruik van de bioreactor bij de specifieke referentiedebieten is nog onbekend. Avecom en Dutch Water Tech geven aan dat het voornamelijk pomp-, doseer- en spoelkosten betreft. De energie-impact van de productie van azijnzuur, uitgedrukt in de GER-waarde<sup>20</sup>, is 53 MJ per kg.

##### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

In de aangeleverde informatie was geen inschatting gemaakt van het energieverbruik van de bioreactor. Het systeem lijkt aanzienlijk complexer dan een defosfateringsinstallatie, en lijkt meer op een complexe miniatuurafvalwaterzuivering. Een complexere rioolwaterzuivering met bioreactor kan tot 0,86 kWh/behandelde m<sup>3</sup> aan energie vereisen, waarvan 11 % voor alleen de bioreactor<sup>21</sup>. Als dit als uitgangspunt gebruikt wordt, resulteert dat in circa 33.000, 125.000 en 500.000 kWh/j oftewel 120, 45 of 1.800 GJ/j, voor een debiet van 40, 150 of 600 m<sup>3</sup>/u (zie tabel 4.8). Hierbij is de GER-waarde van azijnzuur opgeteld, wat neerkomt op respectievelijk 265; 1.000 en 4.000 GJ/j bij een debiet van 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u. Dit komt neer op een bandbreedte van 0,05 % (bij vergelijkbaar energieverbruik met chemische defosfatering) tot 1,6 % (bij vergelijkbaar energieverbruik met een bioreactor op een rioolwaterzuivering) van de opbrengst van een TEO-installatie. Dit is nadrukkelijk een grofstoffelijke benadering, maar laat wel zien dat het energieverbruik waarschijnlijk in de beste klasse van < 1 % valt, of in de een-na-beste (> 1 % maar < 5 %).

Het grootste deel van de OPEX bestaat vaak uit elektriciteitskosten voor het verpompen; een combinatie met een TEO-installatie en dus al gedeeltelijke inzet van die pompcapaciteit resulteert in een lager gecombineerd energieverbruik. Daarnaast vervangt het voorfilter van de bioreactor een eventueel voorfilter van de TEO-installatie<sup>22</sup>. Er wordt in dit geval uitgegaan van het gemiddelde tussen de twee percentages (energieverbruik t.o.v. defosfatering en t.o.v. bioreactor op rioolwaterzuivering, voor de drie cases allen circa 0,8 %), waarmee het energieverbruik uit komt op < 1 % van de (thermische) energieopbrengst van het gekoppelde TEO-systeem.

20 Gross Energy Requirement, de bruto primaire energie.

21 Quicksan varianten rwzi Ootmarsum, Mirabella Mulder Waste Water Management in opdracht van waterschap Vechtstromen, 15 november 2016.

22 Energiekosten verschillen per type filter, met name door verschil in druk. Hier wordt echter aangenomen dat die verschillen niet onderscheidend zijn.

TABEL 4.8 ENERGIEVERBRUIK VAN DE NUTREACT BIOREACTOR IN RELATIE TOT DE (THERMISCHE) ENERGIEOPBRENGST VAN DE TEO-INSTALLATIE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
geleverde warmte door TEO (GJ/j)	7.500	30.000	120.000
verbruikte energie door defosfatering (GJ/j)	3,6	18	72
energie defosfatering t.o.v. opgewekt door TEO (%)	0,05	0,06	0,06
verbruikte energie door bioreactor op rioolwaterzuivering (GJ/j)	385	1.450	5.800
energie bioreactor op rioolwaterzuivering t.o.v. opgewekt door TEO (%)	5	5	5
beoordeling criterium	2 - 5 %	2 - 5 %	2 - 5 %

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 8

In deze bepaling wordt uitgegaan van de middelste beoordeling (2 - 5 % van de energie-opbrengst van een TEO-installatie) voor de drie referentiecassen.

#### 4.2.9 CRITERIUM 9: DE KOSTEN VOOR P-VERWIJDERING MET HET SYSTEEM ZIJN LAGER DAN REGULIERE KOSTEN VOOR P-VERWIJDERING

##### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

De investeringskosten voor een installatie met een debiet van 40 m<sup>3</sup>/u zijn door Avecom en Dutch Water Tech ingeschat op EUR 125.000, wat met een afschrijving over 15 jaar en 2,5 % rente neer komt op circa EUR 8.000 per jaar. Volgens opgave van Avecom en Dutch Water Tech is de CAPEX niet lineair schaalbaar met de grootte van de installatie, maar nemen de kosten relatief gezien af met toenemende installatiegrootte. Op basis van de aangeleverde getallen worden de jaarlijkse kosten geraamd op EUR 8.000, EUR 23.000 en EUR 70.000 bij 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u, respectievelijk. De OPEX is ingeschat gebaseerd op aangeleverde informatie wat betreft energieverbruik, beheer en kosten voor azijnzuur. In de OPEX worden de onderhoudskosten buiten beschouwing gelaten om dubbeltelling te voorkomen, omdat deze afzonderlijk worden behandeld bij criterium 4 (zie paragraaf 4.2.4 en tabel 4.4). Het is onbekend of in de aangeleverde OPEX ook kosten voor vervanging van de cartridges zijn opgenomen.

Omdat het voorfilter van de bioreactor een eventueel voorfilter van de TEO-installatie vervangt, kunnen deze kosten worden bespaard in de TEO-installatie; deze worden hier dus niet meegenomen<sup>23</sup>. In deze uitwerking wordt ook geen rekening gehouden met eventuele opbrengsten van teruggewonnen P. De kosten van de bioreactor worden vergeleken met de kosten van chemische defosfatering, die zijn weergegeven in tabel 2.2 (zie ook paragraaf 2.4). Deze kosten berusten op aannames uit eerdere referentieprojecten en betreffen dus een grofstoffelijke inschatting.

##### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Op basis van de aangeleverde informatie zijn de kosten per behandelde m<sup>3</sup> en per verwijderde P berekend bij toepassing van de Nutreact bioreactor (zie tabel 4.9). Voor 40 m<sup>3</sup>/u zijn de investeringskosten aangeleverd, voor de hogere debieten is dit geschaald op basis van een maximale belasting van 40 m<sup>3</sup>/u per bioreactor, en altijd een geheel aantal bioreactoren. Voor 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u zijn dus respectievelijk 1, 4 en 15 geschakelde reactoren aangenomen. In dit rapport wordt een referentiewaterkwaliteit gehanteerd van 0,15 mg P/l, welke door de bioreactor gereduceerd wordt tot 0,01 mg P/l (0,14 mg/l verwijderd). Dit komt neer op EUR 905, 485 of 360 per kg verwijderde P bij 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u respectievelijk.

<sup>23</sup> Kosten verschillen per type filter, hier wordt echter aangenomen dat die verschillen niet onderscheidend zijn.

TABEL 4.9 KOSTENINSCHATTING NUTREACT BIOREACTOR

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
CAPEX (EUR/j)	8.000	23.000	70.000
OPEX (EUR/j)	36.400	66.500	194.400
azijnzuurverbruik (EUR/j) <sup>24</sup>	9.700	35.000	143.400
energieverbruik (EUR/j) <sup>25</sup>	1.700	6.500	26.000
beheer (EUR/j) <sup>26</sup>	25.000	25.000	25.000
totale kosten per jaar (EUR/j) <sup>27</sup>	44.400	89.500	264.400
kosten per behandelde m <sup>3</sup> (EUR)	0,13	0,07	0,05
kosten per verwijderde kg P bij 0,15 mg P/l (EUR)	905	485	360
kosten per verwijderde kg P bij 1 mg P/l (EUR)	130	70	50

Ter vergelijking: bij een chemische defosfateringsinstallatie van 40, 50 of 600 m<sup>3</sup>/u komen de kosten uit op EUR 0,09; 0,04 of 0,02 per behandelde m<sup>3</sup> bij een P-concentratie van 0,15 mg/l. Dit komt neer op EUR 925, EUR 395 of EUR 220 per kg verwijderde P bij 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u respectievelijk (zie tabel 2.2). Als deze gegevens naast elkaar worden gezet (zie tabel 4.10) blijkt dat de kosten voor de bioreactor vergelijkbaar zijn met chemische defosfatering bij 40 m<sup>3</sup>/u. Bij 150 en 600 m<sup>3</sup> zijn de kosten per verwijderde kg P juist hoger dan in de chemische defosfatering; circa 35 % en circa 95 % hoger. Deze kosten lijken met name het resultaat van de lineaire opschaling door meer bioreactoren te plaatsen. Bij een chemische defosfatering dalen de kosten per behandelde m<sup>3</sup> relatief meer vanwege de opschaling van de installatie door de dimensionering aan te passen.

Hier dient opgemerkt te worden dat er zeer grote verschillen bestaan in kosten, die afhankelijk zijn van de ingaande P-concentratie. Bijvoorbeeld: bij 1 mg P/l zouden de kosten van een chemische defosfatering toenemen (hogere ijzerdosering) en de kosten per verwijderde P bij de bioreactor afnemen (ervan uitgaande dat de verwijdering tot 0,01 mg/l gehandhaafd blijft). In het voorbeeld van 1 mg P/l zijn de kosten voor de bioreactor per verwijderde kg P 80 - 90 % lager dan bij 0,15 mg P/l en is de techniek relatief wellicht meer rendabel. Uitgedrukt per m<sup>3</sup> blijft de Nutreact bioreactor echter minimaal 50 % duurder dan chemische defosfatering.

TABEL 4.10 KOSTENVERGELIJKING TUSSEN DE NUTREACT BIOREACTOR EN CHEMISCHE DEFOSFATERING BIJ EEN REFERENTIEWATERKWALITEIT VAN 0,15 MG P/L, WAARVAN 0,05 MG ORTHO-P/L

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
kosten bioreactor (EUR/kg P)	905	485	360
kosten defosfatering (EUR/ kg P)	925	395	220
kosten bioreactor per kg verwijderde P t.o.v. defosfatering (%)	98	125	165
kosten bioreactor (EUR/m <sup>3</sup> )	0,13	0,07	0,05
kosten defosfatering (EUR/m <sup>3</sup> )	0,09	0,04	0,02
kosten bioreactor per m <sup>3</sup> t.o.v. defosfatering (%)	145	175	250
beoordeling criterium	vergelijkbaar	vergelijkbaar	hoger dan regulier

### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 9

Volgens de schaal van dit criterium valt de bioreactor in de middelste beoordeling voor de referentiecasis met middel en middelgrote (40 en 150 m<sup>3</sup>/u) TEO-installaties (kosten per eenheid verwijderde P zijn iets lager of hoger dan bij reguliere P-verwijdering, maar nog

24 Op basis van aangeleverde doseringen, verrekend met EUR 2,48/l 80 % azijnzuur.

25 Gemiddelde tussen chemische defosfatering en bioreactor op rwzi.

26 Inschatting op basis van complexiteit.

27 Op basis van 2,5 % rente en afschrijving over 15 jaar.



geen 50 % verschil). De grote installatie (600 m<sup>3</sup>/u) valt met hogere kosten dan de reguliere P-verwijdering, maar nog geen verdubbeling, in de een-na-laagste beoordeling.

#### 4.2.10 CRITERIUM 10: HET SYSTEEM BRENGT GEEN MILIEUVREEMDE STOFFEN IN HET WATER

##### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Het systeem voor de bioreactor brengt geen milieuvreemde stoffen in het water. De enige stof die gebruikt wordt is azijnzuur, wat wordt verbruikt door de micro-organismen. Dit zou daarom niet in het milieu terecht moeten kunnen komen (zie ook paragraaf 4.2.7). Het dragermateriaal zal bij voorkeur biologisch afbreekbaar worden, hiervoor zijn al meerdere opties onderzocht. Desalniettemin is het niet waarschijnlijk dat het dragermateriaal in het milieu terecht komt.

##### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 10

Volgens de schaal van dit criterium valt het niet vrijkomen van milieuvreemde stoffen in de hoogste beoordeling voor de drie referentiecassen.

TABEL 4.11 BEOORDELING OP CRITERIUM 10 OP BASIS VAN AANGELEVERDE BUSINESSCASE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	geen vreemde stoffen	geen vreemde stoffen	geen vreemde stoffen

#### 4.2.11 CRITERIUM 11: HET SYSTEEM VOOR P-VERWIJDERING BRENGT GEEN AANVULLENDE SCHADE TOE AAN FLORA EN FAUNA

##### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Het effect op flora en fauna zal naar verwachting niet anders zijn dan bij toepassing van TEO. In beide technologieën wordt gebruik gemaakt van een voorfilter en mechanische bewerkingen zoals pompen.

##### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

De Nutreact bioreactor brengt geen nieuwe factoren in ten opzichte van de al aanwezige TEO-installatie. Daarnaast kan het verlagen van P-concentraties de waterkwaliteit aanzienlijk verbeteren en algenbloei voorkomen, wat een positief effect kan hebben op lokale flora en fauna. Het effect op waterkwaliteit is groter bij een hoger behandeld debiet, en uiteraard afhankelijk van de schaalgrootte t.o.v. het volume oppervlaktewater. De drijvende eilanden zijn niet meegenomen in de uitwerking van de maatschappelijke waardebeoordeling omdat deze geen onderdeel zijn van de installatie en de businesscase, maar deze kunnen wel de lokale biodiversiteit stimuleren en zorgen voor extra nutriëntenverwijdering. Dit effect is nog niet gekwantificeerd.

##### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 11

Volgens de schaal van dit criterium valt het verminderen van de schade aan flora en fauna in de hoogste beoordeling voor de drie referentiecassen.

TABEL 4.12 BEOORDELING OP CRITERIUM 11 OP BASIS VAN AANGELEVERDE BUSINESSCASE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	minder schade	minder schade	minder schade

#### 4.2.12 CRITERIUM 12: GEOOGSTE FOSFOR KAN WORDEN HERGEBRUIKT

##### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

De nutriënten worden afgevoerd onder de vorm van een biomassa waarin de P werd geaccumuleerd. Het is nog onbekend hoe hoog de P in verhouding aanwezig is, en hoe de biomassa te valoriseren is; dit is nog niet verder uitgewerkt. De P-verbindingen die in de voorfiltratie verwijderd worden, worden verwerkt als onderdeel van het slib.

##### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Teruggewonnen P kan mogelijkverwijderd worden tot waardevolle nieuwe grondstof, maar daar kan op basis van beschikbare informatie alleen op basis van inschatting een beoordeling aan gegeven worden. Technisch gezien lijkt gewonnen P terug te winnen; commercieel gezien is er nog geen (grote of duidelijke) markt voor. Omdat het een gecombineerde stroom betreft, is de valorisatie wel gelimiteerd in toepassingen.

##### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 12

Volgens de schaal van dit criterium valt geogst fosfor dat geschikt is voor hergebruik in specifieke toepassingen in de middelste beoordeling voor de drie referentiecassus<sup>28</sup>.

TABEL 4.13

BEOORDELING OP CRITERIUM 12 OP BASIS VAN AANGELEVERDE BUSINESSCASE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	specifieke toepassing	specifieke toepassing	specifieke toepassing

#### 4.3 CONCLUSIE

De Nutreact bioreactor kan in theorie een hoog P-verwijderingsrendement realiseren. Het systeem kan door de losse reactoren worden opgeschaald afhankelijk van gewenste debieten. Hoewel de techniek gericht is op terugwinnen van ortho-P, wordt ook gesuspendeerd P grotendeels verwijderd (maar is dan niet terug te winnen). Door de geclaimde stabiele eindconcentratie van 0,01 mg P/l is dit een zeer geschikt systeem om in te zetten in kwetsbare gebieden of bij relatief hoge P-concentraties. Het feit dat het een gesloten systeem is, dat ook ondergronds te plaatsen is, kan een meerwaarde hebben in gebouwde omgeving. De drijvende eilanden zijn niet meegenomen in de uitwerking van de maatschappelijke waardebeoordeling, maar kunnen wel van toegevoegde waarde zijn vanuit esthetisch of recreatief oogpunt.

Afbeelding 4.2 geeft een samenvatting van de score van de bioreactor op de verschillende toetsingscriteria. De bioreactor scoort goed op veel toetsingscriteria, maar is een redelijk complex systeem dat dus een hoger energieverbruik, onderhoud en operationele kosten mee kan brengen. De enige punten waarop echt slechter gescoord wordt dan de referenties zijn de kosten (per eenheid verwijderde P). Deze zijn nu gebaseerd op ruwe inschattingen en zouden nog positiever (of negatiever) kunnen uitvallen bij verdere uitwerking op basis van een volledige businesscase. Een verder aandachtspunt bij inzet van de bioreactor is de fractieverdeling van P, en de mogelijkheid tot hergebruik van geogst fosfor. Als er veel gesuspendeerd P of andere onopgeloste deeltjes aanwezig zijn, komt een groot deel van de belasting neer op het voorfilter en niet op de bioreactor. Verder is nog niet bekend hoe het teruggewonnen P kan worden hergebruikt. Het onderzoeken van deze mogelijkheden valt buiten de scope van deze waardebeoordeling, maar is wel belangrijk om de meerwaarde op fosforhergebruik goed te kunnen inschatten.

<sup>28</sup> Echter met de kanttekening dat valorisatie nog hypothetisch is.

AFBEELDING 4.2 SAMENVATTING VAN DE SCORE VAN DE NUTREACT BIOREACTOR OP DE TOETSINGSCRITEERIA. . DE KLEUREN ZIJN INDICATIEF VOOR DE SCORE OP DE 12 TOETSINGSCRITEERIA: LAAGSTE SCORE - ROOD; ÉÉN-NA-LAAGSTE - ORANJE; GEMIDDELD - GEEL; ÉÉN-NA-HOOGSTE - LICHTGROEN; HOOGSTE - DONKERGROEN

NUTREACT Criteria	TEO middel 250 WEQ   40 m <sup>3</sup> /u	TEO middelgroot 1.000 WEQ   150 m <sup>3</sup> /u	TEO groot 4.000 WEQ   600 m <sup>3</sup> /u
1a ortho-P	> 75 %	> 75 %	> 75 %
1b gesuspendeerd P	> 75 %	> 75 %	> 75 %
2 invloed warmtewinning	geen invloed	geen invloed	geen invloed
3 ruimtebeslag	< 50 %	< 50 %	< 50 %
4 onderhoudsbehoefte	lager dan TEO alleen	lager dan TEO alleen	lager dan TEO alleen
5 schaarse grondstoffen	geen gebruik	geen gebruik	geen gebruik
6 afvalproductie	vergelijkbaar	vergelijkbaar	vergelijkbaar
7 chemicaliën	geen gebruik	geen gebruik	geen gebruik
8 energie	2-5 % van opbrengst	2-5 % van opbrengst	2-5 % van opbrengst
9 kosten/verwijderde kg P	vergelijkbaar	vergelijkbaar	hoger
10 milieuvreemde stoffen	geen gebruik	geen gebruik	geen gebruik
11 flora en fauna	minder schade	minder schade	minder schade
12 fosfor hergebruik	specifiek	specifiek	specifiek

# 5

## MAATSCHAPPELIJKE WAARDEBEPALING

### DRIJVENDE MOSSSELBAK

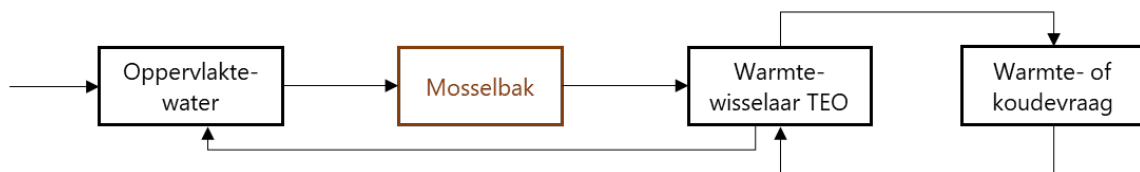
#### 5.1 BESCHRIJVING VAN DE TECHNOLOGIE

SamenWarm Ontwikkeling heeft inzet van een drijvende mosselbak voorgesteld als innovatief idee om P te verwijderen. De bak zal in het oppervlaktewater drijven en een soort extra voorfilter zijn van de TEO-installatie. De installatie onttrekt dus het oppervlaktewater via deze filterbak; vervolgens stroomt het water door de installatie en wordt weer geloosd op het oppervlaktewater. De drijvende mosselbak kan vervaardigd worden van gerecycled plastic en de afmeting kan afgestemd worden op de capaciteit van de TEO-installatie. Grof vuil wordt bij het innemen van water tegengehouden door perforaties van 2 cm in de wand van de mosselbak.

In de drijvende filterbak worden driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) ingezet die al in hoge aantallen voorkomen in Nederlandse oppervlaktewateren. Praktijkervaring van SamenWarm laat zien dat deze mossel inderdaad al vaak te vinden is bij TEO-installaties. Uit onderzoek door Bureau Waardenburg en TNO is gebleken dat driehoeksmosselen nutriënten (waaronder P) effectief kunnen verwijderen, en dat het inzetten van deze dieren de helderheid van oppervlaktewater sterk kan verhogen<sup>29</sup>.

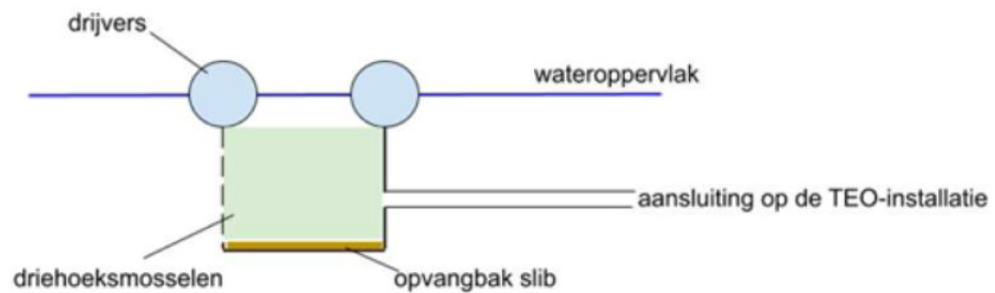
De bak wordt aan de onderzijde ondoorlatend gemaakt, waardoor het slib van de mosselen onder in de bak kan worden opgevangen. Gevormd slib kan dan eenvoudig worden verwijderd uit de bak door het opzuigen met behulp van een vacuüm-installatie.

AFBEELDING 5.1 SCHEMATISCHE INPASSING VAN DE DRIJVENDE MOSSSELBAK. DIT VERVANGT EEN EVENTUEEL VOORFILTER VAN DE TEO-INSTALLATIE ZELF. EVENTUELE WARMTE/KOUDE-OPSLAG IS NIET WEERGEGEVEN. EEN DETAILIMPRESSIE VAN DE MOSSSELBAK IS TE ZIEN IN AFBEELDING 5.2



<sup>29</sup> Waterzuivering door Driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) in het Volkerak-Zoommeer: De inzet van en mosselfilter in de Steenbergse Vliet, TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (2004).

AFBEELDING 5.2 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE DRIJVENDE MOSSELBAK, AANGELEVERD DOOR SAMENWARM. EVENTUELE WARMTE/KOUDE-OPSLAG IS NIET WEERGEGEVEN



### 5.1.1 AANNAMES

SamenWarm heeft hun ingezonden idee niet verder uitgewerkt, daarom is in dit rapport gebruik gemaakt van openbaar beschikbare informatie van Riza, TNO en Bureau Waardenburg<sup>30 31 32</sup>. De verschillende referentieonderzoeken laten zien dat de effectiviteit van inzet van driehoeksmosselen sterk verschilt tussen de onderzoeken. Vanwege de grote bandbreedte in effectiviteit kunnen we in deze waardebeoordeling geen gedetailleerde analyse maken, maar enkel een grofstoffelijke inschatting maken aan de hand van de genoemde onderzoeken.

#### AANNAMES OP BASIS VAN DE REFERENTIEONDERZOEKEN:

- mosselen voeden zichzelf door gesuspendeerde deeltjes uit het water te filteren, waaronder met name bacteriën, algen en detritus. Het verteerbare deel gebruiken zij als voedingsbron voor groei (biomassa). Onverteerd materiaal dat het verteringsstelsel is gepasseerd wordt uitgescheiden in het feces; sommige niet-verteerbare deeltjes worden na filteren direct uitgescheiden als pseudo-feces. Dit uitgescheiden materiaal zal een geconcentreerde sliblaag vormen onderin de bak;
- de driehoeksmossel filtert vooral gesuspendeerde deeltjes uit het water met een voorkeursgrootte tussen 15 en 40 µm. Deeltjes kleiner dan 5 µm worden met een zeer lage efficiëntie verteerd maar worden wel uit het water gefilterd;
- er wordt aangenomen dat 1.000 mosselen (met een natuurlijke lengte-frekwentiesamenstelling) per dag 1 m<sup>3</sup> water vrijwel volledig kunnen filteren en maximaal 39 % van het gesuspendeerde P verwijderen;
- er wordt aangenomen dat de mosselen een dichtheid van 5.000/m<sup>2</sup> kunnen bereiken;
- binnen de value case wordt aangenomen dat de hoeveelheid mosselen en filtercapaciteit lineair opgeschaald kunnen worden;
- te veel voedsel verstopt het filtersysteem van de mossel, maar er wordt aangenomen dat dit niet plaatsvindt bij de referentiewaterkwaliteit van 0,15 mg P/l en 1,6 mg N/l;
- er wordt aangenomen dat de stroomsnelheid bij de genoemde debieten niet limiterend is;
- mosselen groeien op een hard substraat; hierin ondervinden zij concurrentie van o.a. macroalgen, zoetwaterpoliepen en garnalen. Predatie kan een risico zijn; vissen komen er niet bij maar watervogels wel. Daarnaast is sterfte door parasieten mogelijk; in deze uitwerking wordt met deze factoren geen rekening gehouden;
- de optimale diepte voor de mosselen lijkt in de praktijk 2 - 4 meter onder het wateroppervlak, maar dit zou te maken kunnen hebben met factoren die niet relevant zijn in het ontwerp van SamenWarm. Denk aan opwerveling van silt en detritus wat de mosselen

30 Een biologisch filter: haalbaar of niet? DBW/Riza nota 89.059, 1989.

31 Waterzuivering door Driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) in het Volkerak-Zoommeer: De inzet van een mosselfilter in de Steenbergse Vliet, TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (2004).

32 Inzet van Driehoeksmosselen bij biologisch waterbeheer; resultaten van veldexperimenten. H2O 27, 1994, nr 6.

kan bedekken en verstikken, hogere predatiedruk in de bovenste delen van de waterkolom, etc. Een diepte van 2 - 4 m bemoeilijkt het onderhoud en de inpassing aanzienlijk. Omdat dit een (zijwaarts) afgesloten bak betreft en geen natuurlijke watergang, wordt aangenomen dat de mosselen minder diep gekweekt hoeven te worden;

- onder andere temperatuur, chloridegehalten, zuurstofgehalten en pH spelen een rol in de groei en levenscyclus van de mossel, maar deze zijn hier niet meegenomen. Deze worden verondersteld binnen de marges te zijn in gemiddelde oppervlaktewateren;
- in deze waardebeoordeling wordt geen rekening gehouden met de benodigde tijd om een stabiele mosselcultuur op te starten, of het behoud hiervan over tijd (evenwicht tussen sterfte en aangroei);
- per toepassingsgebied kunnen verschillende limitaties optreden, maar de mate waarin is niet te voorspellen bij het generieke niveau van de huidige value case. De case gaat daarom uit van optimale groei.

### 5.1.2 PATENT

Bureau Waardenburg heeft als gevolg van hun succesvolle proeven een tweetal octrooien aangevraagd en verleend gekregen voor de toepassing van de driehoeksmossel voor waterzuivering<sup>33 34</sup>. Het patent zet breed in en omvat hoogstwaarschijnlijk ook de toepassing zoals die hier beoogd is. Naar aanleiding hiervan heeft Witteveen+Bos contact gezocht met Bureau Waardenburg (dr. W. Lengkeek), dat aangaf de patenten niet als een belemmering te zien voor deze uitwerking en verdere haalbaarheid (zeker niet in een onderzoekstadium). Bij toepassing van mosselbakken zonder akkoord van Bureau Waardenburg is sprake van inbreuk op het patent.

### 5.1.3 TOEPASSING VAN DRIEHOEKSMOSSELEN

De driehoeksmossel wordt binnen het Nederlandse waterbeheer als exoot beschouwd, waardoor deze niet zonder vergunning aangebracht mag worden in oppervlaktewater. Omdat Bureau Waardenburg geen toestemming voor vervolgtesten met driehoeksmosselen heeft verkregen, is Bureau Waardenburg zelf gestopt met de toepassing van de driehoeksmossel voor waterzuivering<sup>35</sup>. Bij toepassing van driehoeksmosselen bij een TEO-installatie zal ontheffing moeten worden aangevraagd om actieve uitzet mogelijk te maken.

## 5.2 TOETSING

### 5.2.1 CRITERIUM 1: HET SYSTEEM VERLAAGT DE CONCENTRATIE P IN HET INGENOMEN WATER SIGNIFICANT

#### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Op basis van openbare informatie wordt aangenomen dat 1.000 mosselen (met een natuurlijke lengte-frequentiesamenstelling) per dag 1 m<sup>3</sup> water vrijwel volledig kunnen filteren. Hierbij wordt aangenomen dat 39 % van het gesuspendeerde P verwijderd wordt; hier wordt uitgegaan van een 'best-case' scenario<sup>36 37</sup>. Ook wordt hier uitgegaan van een compleet volgroeid systeem, waarin een maximale dichtheid van mosselen al behaald is en

33 Method and device for the purification of water, aanvraagnummer 2007667, uitgegeven op 28-10-2011.

34 Device and method for collecting and/or growing aquatic animals, aanvraagnummer 2016073, uitgegeven op 18-08-2017.

35 <https://www.buwa.nl/mosselkweek-waterzuivering.html>.

36 Volgens Waterzuivering door Driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) in het Volkerak-Zoommeer: De inzet van een mosselfilter in de Steenbergse Vliet, TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (2004).

37 Een kanttekening hierbij is dat bij onzorgvuldig verwijderen van slib de hoeveelheid opgelost P kan toenemen, doordat P afkomstig van verteerd particulier materiaal weer terecht komt in de waterkolom.

stabiel blijft. Hier wordt geen rekening gehouden met seizoensdynamiek; in werkelijkheid zal het systeem weerbarstiger zijn. Onder andere temperatuur heeft een sterke invloed op de groei en filtersnelheid van de driehoeksmosselen. De activiteit van de mosselen zal daarmee het hoogst zijn in het voor- en najaar, wanneer ook de hoeveelheid (blauw)algen vaak toeneemt. (Blauw)algen en bacteriën worden effectief uit het water gefilterd door de mosselen, terwijl ortho-P niet opgenomen wordt. Verschillende blauwalgen kunnen door de aanmaak van toxines een negatieve invloed hebben op de groei van de mosselen. Verder zal de effectiviteit van de mosselbak zeer laag zijn in de winter en wordt waarschijnlijk weinig P verwijderd. Nutriëntenconcentraties in oppervlaktewateren zijn echter vaak ook lager in de winter dan in de zomer. De bedrijfszekerheid zal beïnvloed worden door deze factoren, maar in welke mate is afhankelijk van lokale condities en seizoensdynamiek, en is dus niet in te schatten binnen deze waardebepalings.

#### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Mosselen verwijderen gesuspendeerde deeltjes, en waarschijnlijk is de hoeveelheid ortho-P die verwijderd wordt minimaal. Bij elk van de referentiecassussen (40, 150, 600 m<sup>3</sup>/u) wordt aangenomen dat de P-verwijdering vergelijkbaar is, en deze wordt gesteld op 39 % van het totaal-P. Deze zuiveringscapaciteit is echter zeer variabel en afhankelijk van o.a. voedselbeschikbaarheid en lokale omstandigheden, dus dit betreft een ruwe inschatting. Bij een referentie P-concentratie van 0,15 mg P/l (waarvan ortho-P 0,05 mg P/l) komt dit neer op 0,06 mg P verwijderd per liter, wat vrijwel volledig gesuspendeerd P betreft. Van het gesuspendeerde P wordt dus 42,5 % verwijderd, en van het ortho-P 0 %.

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 1

Volgens de schaal van dit criterium valt geen verwijdering van ortho-P in de laagste beoordeling voor de drie referentiecassussen en 42,5 % verwijdering van gesuspendeerd P in de middelste beoordeling voor de drie referentiecassussen (matige afname (25 - 50 %)).

TABEL 5.1 P-VERWIJDERING DOOR DRIJVENDE MOSSELBAK

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
percentage totaal p verwijderd (%)	39	39	39
percentage gesuspendeerd p verwijderd (%)	42,5	42,5	42,5
beoordeling criterium 1a	geen afname	geen afname	geen afname
beoordeling criterium 1b	matige afname (25-50%)	matige afname (25-50%)	matige afname (25-50%)

### 5.2.2 CRITERIUM 2: HET SYSTEEM HEEFT GEEN NADELIGE INVLOED OP DE WARMTEWINNING DOOR HET TEO-SYSTEEM

#### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Er is geen informatie beschikbaar gesteld.

#### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Het is niet aannemelijk dat de drijvende mosselbak invloed heeft op de watertemperatuur.

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 2

Volgens de schaal van dit criterium valt geen aantoonbaar effect op de warmtewinning in de middelste beoordeling voor de drie referentiecassussen (geen invloed op de warmtewinning).

TABEL 5.2

## BEOORDELING OP CRITERIUM 2

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	geen invloed	geen invloed	geen invloed

## 5.2.3 CRITERIUM 3: HET RUIMTEBESLAG VAN HET SYSTEEM VOOR P-VERWIJDERING IS BEPERKT

**BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM**

Er is geen informatie beschikbaar gesteld. De mosselbak is schaalbaar en het ruimtebeslag vooral afhankelijk van de hoeveelheid mosselen. Er wordt aangenomen dat 1.000 mosselen 1 m<sup>3</sup>/d kunnen zuiveren (op basis van onderzoeksrapporten (zie ook paragraaf 5.1.1), en er wordt uitgegaan van maximaal 5.000 mosselen per m<sup>2</sup> in een reeds compleet volgroeid systeem<sup>38</sup>. Het is onbekend in welke mate mosselen zullen reageren op stroomsnelheid, voedselbeschikbaarheid, temperatuur, etc., dus de hoeveelheid mosselen en hun dichtheid moet in de praktijk worden afgestemd op de lokale condities.

**OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING**

Als uitgegaan wordt van de beschikbare informatie, zijn 0,96; 3,6 en 14,4 miljoen mosselen nodig om respectievelijk 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u te filteren. Bij 5.000 mosselen per m<sup>2</sup> nemen deze een effectieve oppervlakte in van 192, 720 en 2.880 m<sup>2</sup>. Het is wellicht mogelijk de mosselen verticaal aan touwen of kettingen te bevestigen, waardoor deze minder ruimte innemen. In dit geval wordt aangenomen dat viermaal zoveel mosselen in een bak geplaatst kunnen worden bij verticale plaatsing, waarmee de benodigde oppervlakte zal uitkomen op 48, 180 en 720 m<sup>2</sup>. Hier wordt nog geen rekening gehouden met het onderverdelen in meerdere bakken, wat wel nodig zal zijn om het systeem haalbaar te maken (i.v.m. controleerbaarheid, drijfvermogen, productiemogelijkheden, etc.). Een TEO-installatie neemt bij deze debieten een ruimte in van respectievelijk 160, 430 of 1.250 m<sup>2</sup>, wat neerkomt op een respectievelijk ruimtebeslag van 30, 42 en 58 %<sup>39</sup> ten opzichte van de TEO-installatie geschikt voor de genoemde debieten (tabel 5.3). Dit ruimtebeslag betreft ruimte in de bovenste laag van het oppervlaktewater. Ter referentie; een defosfateringsinstallatie van 600 m<sup>3</sup>/u zal zo'n 160 m<sup>2</sup> in beslag nemen.

TABEL 5.3

## RUIMTEBESLAG VAN DE MOSSELBAK IN RELATIE TOT DE TEO-INSTALLATIE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
benodigde mosselen (aantal)	960.000	3.600.000	14.400.000
ruimtebeslag mosselbak (m <sup>2</sup> )	48	180	720
ruimtebeslag TEO-installatie (m <sup>2</sup> )	160	430	1.250
ruimte mosselbak t.o.v. TEO (%)	30	42	58
beoordeling criterium	kleiner dan TEO (<50%)	kleiner dan TEO (<50%)	vergelijkbaar met TEO

**BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 3**

Volgens de schaal van dit criterium valt het ruimtebeslag in de een-na-hoogste beoordeling (kleiner ruimtebeslag dan de TEO-installatie (< 50 %)) voor de middel en middelgrote TEO-installaties (40 en 150 m<sup>3</sup>/u) en in de middelste beoordeling (vergelijkbaar ruimtebeslag als TEO-installatie) voor de referentiecasi met grote (600 m<sup>3</sup>/u) TEO-installatie. Dit maakt inzet van de drijvende mosselbak niet realistisch voor alle schaalniveaus.

38 Een biologisch filter: haalbaar of niet? DBW/Riza nota 89.059, 1989.

39 In het geval van de mosselbak wordt uitgegaan van lineair schalen, wat bij de TEO-installaties niet van toepassing is.



#### 5.2.4 CRITERIUM 4: DE ONDERHOUDSBEHOEFTE VAN HET SYSTEEM VOOR P-VERWIJDERING IS BEPERKT

##### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Er is geen informatie beschikbaar gesteld over onderhoudsbehoefte- en kosten. Er wordt door SamenWarm niet veel onderhoud verwacht, maar de mosselbak moet wel regelmatig schoongemaakt worden en van slib ontdaan (middels een vacuüminstallatie). Verder moeten mosselen geoogst worden en eventuele dode mosselen verwijderd. Mogelijkerwijs kunnen ook parasietenbestrijding en predatiebeperkende maatregelen noodzakelijk zijn. Daadwerkelijke kosten zijn hiervoor niet gespecificeerd, wat een vergelijking met het onderhoud voor een TEO-installatie lastig maakt. (Dit wordt geraamd op circa EUR 18.000, EUR 44.000 en EUR 114.000, voor een TEO-installatie van respectievelijk 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u.)

Wel neemt de complexiteit van onderhoud en beheer snel toe bij de geschatte afmetingen: de benodigde hoeveelheid mosselen en ruimte kunnen naar schatting hoog oplopen (zie paragraaf 5.2.2). Bij een ruimtegebruik van tientallen tot honderdtallen m<sup>2</sup> in losse bakken is enkel het controleren van de mosselen al complex.

Daarnaast schat SamenWarm in dat de mosselbak een eventueel voorfilter van de TEO-installatie zou kunnen vervangen. Echter, er wordt slib gevormd wat kan opwervelen als dit niet tijdig wordt verwijderd én mossellarven en losgebroken mosselen kunnen de installatie ingepompt worden. Ook wordt uitgegaan van perforaties van circa 2 cm in de wand van de mosselbak om water binnen te laten; dit laat ook andere verontreinigingen van aanzienlijke grootte door. Het lijkt dus niet reëel om een voorfilter compleet achterwege te laten.

De aanname in de waardebepalingen is dat de ingezonden ideeën de hoeveelheid P in het aanvoerwater van de TEO-installatie verminderen en daarmee een positief effect hebben op de mate van biofouling. Toepassing van de mosselbak voorafgaand aan de TEO-installatie verwijdert echter alleen gesuspendeerd P, waarmee de biofouling in vorm van biofilms bestaande uit micro-organismen, die vooral ortho-P opnemen, niet zal verminderen. Driehoeksmosselen worden zelf ook vaak gevonden in de leidingen van TEO-installaties, wat door toepassing van de mosselbak sterk kan toenemen. Driehoeksmosselen produceren larven bij temperaturen hoger dan 12 graden, een groot deel van het jaar, waarmee deze vorm van biofouling zelfs toe zal nemen.

##### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Het is op basis van de beschikbare informatie niet mogelijk een inschatting te maken van de kosten voor onderhoud van de drijvende mosselbak. Hoewel het systeem ogenschijnlijk weinig onderhoud vereist, kan de complexiteit aanzienlijk toenemen bij toenemende schaalgroottes. Bij een debiet van 40 m<sup>3</sup>/u is ongeveer 48 m<sup>2</sup> aan mosselbak nodig. Bij de referentie-debieten voor middelgrote (150 m<sup>3</sup>/u; 180 m<sup>2</sup> benodigd) en grote (600 m<sup>3</sup>/u; 720 m<sup>2</sup> benodigd) TEO-installaties is de mate van onderhoud die nodig is voor optimale groei wellicht niet haalbaar. Het effect op biofouling van de TEO-installatie lijkt minimaal (geen effect op biofilmvorming) tot zelfs negatief (door continue hoge aanvoer van mossellarven). Hiermee lijkt de totale onderhoudsbehoefte zelfs hoger tot beduidend hoger dan de onderhoudsbehoefte van een zelfstandige TEO-installatie.

**BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 4**

In dit criterium valt de verwachte onderhoudsbehoefte van de drijvende mosselbak in de een-na-laagste beoordeling (hoger dan zelfstandige TEO-installatie).

TABEL 5.4

INSCHATTING VAN ONDERHOUDSBEHOEFTE VAN DE MOSSELBAK IN RELATIE TOT DE TEO-INSTALLATIE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	hoger dan TEO alleen	hoger dan TEO alleen	hoger dan TEO alleen

**5.2.5 CRITERIUM 5: TOEGEPASTE GRONDSTOFFEN ZIJN HERBRUIKBAAR****BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM**

In de mosselbak worden geen schaarse grondstoffen gebruikt. De voornaamste grondstof die gebruikt wordt, is het substraat, maar dit wordt niet verbruikt. Het is onbekend uit welk materiaal dit substraat zal bestaan maar waarschijnlijk zijn dit touwen of kettingen.

**OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING**

Hier wordt verondersteld dat het substraat geen schaarse grondstoffen bevat. Andere grondstoffen worden niet gebruikt.

**BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 5**

Volgens de schaal van dit criterium valt het niet gebruiken van schaarse grondstoffen in de hoogste beoordeling voor de drie referentiecassen.

TABEL 5.5

BEOORDELING OP CRITERIUM 5

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	geen gebruik	geen gebruik	geen gebruik

**5.2.6 CRITERIUM 6: AFVALPRODUCTIE PER BEHANDELD WATERVOLUME IS LAGER DAN BIJ TRADITIONELE ZUIVERINGSTECHNIKEN****BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM**

Er worden twee soorten reststroom voorzien: geproduceerde biomassa (mosselen) en slib. De gevormde biomassa wordt verondersteld te kunnen worden gebruikt om P en andere nutriënten terug te winnen voor de productie van bijvoorbeeld kunstmest; deze stroom wordt hier niet als afvalstroom beschouwd<sup>40</sup>.

Als een defosfateringsinstallatie wordt ingezet om de referentiedebieten te behandelen resulteert dit bij 0,05 mg ortho-P/l in een slibproductie van circa 2.800, 9.800 en 39.500 kg ds/jaar bij de referentiedebieten van respectievelijk 40, 150 en 600 m<sup>3</sup>/u.

**OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING**

Een chemische defosfateringsinstallatie heeft bij de genoemde referentiecassen een slibproductie van 2,5 kg ds/kg Fe, wat met 3 g Fe/m<sup>3</sup> behandeld water neer komt op respectievelijk 1.100, 3.900 en 15.800 kg Fe/jaar (3 g Fe/m<sup>3</sup> of 8,9 g FeCl/m<sup>3</sup>, zie ook paragraaf 2.4 en tabel 2.2). Dit betekent dat circa 40 % van het slibgewicht bestaat uit Fe. De massa aan geproduceerd slib is dan naar verwachting ook circa 40 % lager bij de mosselbak, omdat daar geen ijzerchloride (of andere hulpstof) wordt toegevoegd die in het slib terecht komt.

<sup>40</sup> Hiervoor is nog geen concrete uitwerking.

De TEO-installatie heeft zelf een voorfilter, wat naar verwachting niet weggelaten kan worden bij toepassing van de mosselbak (zie ook paragraaf 5.2.3). Het is niet aannemelijk dat toepassing van de mosselbak leidt tot een toename in totaal slib (en terugspoelwater) ten opzichte van het 'standaard' voorfilter van de TEO-installatie alleen. Hier wordt aangenomen dat de samenstelling van het slib uit de mosselbak niet significant verschilt van ander vormen van slib.

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 6

Volgens de schaal van dit criterium valt minder afval in de hoogste beoordeling (< 80 %) voor de drie referentiecassus.

TABEL 5.6 BEOORDELING OP CRITERIUM 6

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	veel lager (<80 %)	veel lager (<80 %)	veel lager (<80 %)

#### 5.2.7 CRITERIUM 7: HET SYSTEEM GEBRUIKT GEEN CHEMICALIËN DIE MILIEUSCHADE KUNNEN VEROORZAKEN

##### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Er worden geen chemicaliën gebruikt.

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 7

Volgens de schaal van dit criterium valt het niet gebruiken van milieuschadelijke chemicaliën in de hoogste beoordeling voor de drie referentiecassus.

TABEL 5.7 BEOORDELING OP CRITERIUM 7

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	niet toegepast	niet toegepast	niet toegepast

#### 5.2.8 CRITERIUM 8: HET SYSTEEM VERBRUIKT WEINIG ENERGIE IN RELATIE TOT DE ENERGIEOPBRENGST UIT DE TEO-INSTALLATIE

##### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

SamenWarm verwacht geen energieverbruik bij toepassing van de drijvende mosselbak, omdat de pompcapaciteit van de TEO-installatie benut wordt.

##### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Deze drijvende mosselbakken hebben kleine perforaties van circa 2 cm waardoor het water de bak in kan stromen, en de mosselen zullen in een ruimte-efficiënt systeem waarschijnlijk verticaal geplaatst worden. Vanwege de weerstand die hierdoor ontstaat kan aangenomen worden dat er wel meer pompcapaciteit nodig is dan bij een op zichzelf staande TEO-installatie. Het is echter niet aannemelijk dat de extra benodigde energie hoger zal zijn dan 1 % van de energie die opgewekt wordt met behulp van de TEO-installatie.

Ter vergelijking: zelfs het energieverbruik van een defosfateringsinstallatie is minder dan 1 % van de energie opgewekt door een TEO-installatie (zie tabel 5.8).

TABEL 5.8 ENERGIEVERBRUIK VAN CHEMISCHE DEFOSFATERING IN RELATIE TOT DE (THERMISCHE) ENERGIEOPBRENGST VAN DE TEO-INSTALLATIE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
geleverde warmte door TEO (GJ/j)	7.500	30.000	120.000
verbruikte energie door defosfatering (GJ/j)	3,6	18	72
energie defosfatering t.o.v. opgewekt door TEO (%)	0,05	0,06	0,06
beoordeling criterium	<1 % van opbrengst	<1 % van opbrengst	<1 % van opbrengst

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 8

In deze bepaling wordt uitgegaan van de hoogste beoordeling (< 1 %) voor de drie referentiecassussen.

#### 5.2.9 CRITERIUM 9: DE KOSTEN VOOR P-VERWIJDERING MET HET SYSTEEM ZIJN LAGER DAN REGULIERE KOSTEN VOOR P-VERWIJDERING

##### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

Er is geen informatie beschikbaar gesteld over verwachte CAPEX en OPEX. Wat materialen betreft is er niet veel nodig; het gaat vooral om bakken van (gerecycled) plastic en touwen of kettingen waar de mosselen aan kunnen hechten. Er is wel beheer nodig in de vorm van schoonmaken, mosselen oogsten, slib wegnemen, etc. Kosten voor slibafvoer worden in geen van de waardebeoordelingen meegenomen omdat slibafvoer voor elk van de technieken, incl. defosfatering, benodigd is en vergelijkbaar geacht wordt. In deze uitwerking wordt ook geen rekening gehouden met eventuele opbrengsten van teruggewonnen P. Tot slot worden de onderhoudskosten buiten beschouwing gelaten om dubbeltelling te voorkomen, omdat deze afzonderlijk worden behandeld bij criterium 4 (zie ook paragraaf 5.2.3 en tabel 5.4).

##### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

De kosten (CAPEX en OPEX) zijn onbekend voor de drijvende mosselbak en worden vergeleken met referentiewaarden van een chemische defosfatering, waarvoor kosten wel grofstof-felijk bekend zijn (zie paragraaf 2.4). Het past niet in de scope van deze uitwerking om een schetsontwerp en kostenraming op te stellen, maar de kosten voor aanleg van de drijvende mosselbak zullen aanzienlijk lager zijn dan bij een defosfateringsinstallatie. De drijvende bakken worden gemaakt van gerecycled plastic en hebben enkele leidingen en drijvers nodig. De precieze configuratie is afhankelijk van omstandigheden, maar het is aannemelijk dat bij opschaling gebruik gemaakt wordt van meerdere afzonderlijke bakken.

Omdat er voor de drijvende mosselbak geen chemicaliën en weinig extra energie benodigd zijn, en minder beheer, is het aannemelijk dat ook de OPEX aanzienlijk lager is dan bij chemische defosfatering. Daarbij moet wel opgemerkt worden dat de hoeveelheid verwijderde P in de mosselbakken ook minder controleerbaar is, wat het berekenen van een prijs per eenheid verwijderde P extra bemoeilijkt. Het lijkt echter waarschijnlijk dat de kosten minder dan de helft zullen zijn voor de drijvende mosselbakken ten opzichte van een referentie-defosfateringsinstallatie. Of minder dan 10 % (de hoogste beoordeling in dit criterium) haalbaar is, is niet te bepalen op basis van de huidige informatie.

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 9

Volgens de schaal van dit criterium vallen lagere kosten dan reguliere kosten voor P-verwijdering in de een-na-hoogste beoordeling voor de drie referentiecassussen.

TABEL 5.9

BEOORDELING OP CRITERIUM 9

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	lager dan referentie (< 50 %)	lager dan referentie (< 50 %)	lager dan referentie (< 50 %)

### 5.2.10 CRITERIUM 10: HET SYSTEEM BRENGT GEEN MILIEUVREEMDE STOFFEN IN HET WATER

#### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

De drijvende mosselbak brengt geen milieuvreemde stoffen in het water.

#### BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 10

Volgens de schaal van dit criterium valt het niet vrijkomen van milieuvreemde stoffen in de hoogste beoordeling voor de drie referentiecassen.

TABEL 5.10

BEOORDELING OP CRITERIUM 10

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	geen vreemde stoffen	geen vreemde stoffen	geen vreemde stoffen

### 5.2.11 CRITERIUM 11: HET SYSTEEM VOOR P-VERWIJDERING BRENGT GEEN AANVULLENDE SCHADE TOE AAN FLORA EN FAUNA

#### BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM

SamenWarm verwacht dat het effect op bestaande flora en fauna niet anders zal zijn dan bij toepassing van alleen een TEO-installatie. Bij toepassing van de mosselbak wordt gebruik gemaakt van het (eventuele) voorfilter en mechanische bewerkingen zoals pompen van de TEO-installatie zelf. Wel komen de bakken te drijven in de bovenste waterlagen in het oppervlaktewater zelf. Dit schermt het water eronder af; bij de grotere TEO-installaties gaat dit om aanzienlijke oppervlaktes (zie paragraaf 5.2.3).

#### OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING

Het verlagen van P-concentraties en verhogen van de helderheid kan de waterkwaliteit verbeteren en algenbloei voorkomen, wat een positief effect heeft op lokale flora en fauna. Echter, de voorfilters van de TEO-installatie zouden ditzelfde effect hebben: daarmee heeft de mosselbak in dit opzicht geen meerwaarde ten opzichte van een zelfstandige TEO-installatie.

Verder kan het afschermen van het wateroppervlak een direct effect hebben op lokale flora en fauna door fysieke onbereikbaarheid. Indirect effecten zijn het blokkeren van licht, wat plantengroei remt en verminderde gasuitwisseling. Dit kan leiden tot een daling in de zuurstofconcentratie in het water en veranderingen in chemische samenstelling en leidt tot een verandering in habitatgeschiktheid. Of dit schadelijk is, is afhankelijk van de lokale soortensamenstelling, omstandigheden en de schaalgrootte t.o.v. het volume oppervlaktewater. Over de omvang van het effect kunnen geen generieke uitspraken gedaan worden. Door de uitvoering van de mosselbak toe te spitsen op de lokale omstandigheden kan de omvang van het effect in de praktijk beperkt worden.

**BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 11**

Volgens de schaal van dit criterium valt het toebrengen van aanvullende schade aan flora en fauna in de laagste beoordeling voor de drie referentiecassussen. Dit geldt specifiek voor de drijvende bakken; als deze bijvoorbeeld op de bodem geplaatst worden, kan een negatief effect geminimaliseerd worden.

TABEL 5.11

BEOORDELING OP CRITERIUM 11

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	meer schade	meer schade	meer schade

**5.2.12 CRITERIUM 12: GEOOGSTE FOSFOR KAN WORDEN HERGEBRUIKT****BESCHIKBARE INFORMATIE OVER TECHNOLOGIE MET BETREKKING TOT HET CRITERIUM**

De mosselen filteren particuliere deeltjes die zij gebruiken als voedselbron. Na filteren kan organisch materiaal worden verteerd en gebruikt voor groei, waarmee de fosfor wordt opgeslagen in biomassa. Het is nog onbekend hoe veel P in verhouding aanwezig is, en hoe de biomassa te valoriseren is; dit is nog niet verder uitgewerkt<sup>41</sup>. De schelpen kunnen wellicht ook hergebruikt worden, maar dit betreft niet een specifiek P-rijk materiaal en is in deze waardebeoordeling niet meegenomen.

Overig materiaal belandt in slib, bestaande uit feces en pseudo-feces; dit kan met behulp van vergisting omgezet worden naar biogas en het restant verwerkt in verbrandingsovens. Hier wordt aangenomen dat deze vorm van slib binnen de marges valt waarbinnen het geschikt is voor verwerking.

**OPWERKING VAN BESCHIKBARE INFORMATIE VOOR DE BEOORDELING**

Het is mogelijk vrijwel al het gesuspendeerde materiaal te verwijderen uit het water door driehoeksmosselen in te zetten, maar de hoeveelheid fosfor die in het slib (feces en pseudo-feces samen) of in biomassa terecht komt, is afhankelijk van de waterkwaliteit. P opgeslagen in de mosselen kan mogelijk verwerkt worden tot waardevolle nieuwe grondstof, maar daar kan met de beschikbare informatie alleen op basis van inschatting een beoordeling aan gegeven worden. Ook technisch gezien lijkt gewonnen P terug te winnen; commercieel gezien is er nog geen (grote of duidelijke) markt voor. Omdat het een gecombineerde stroom betreft is de valorisatie wel gelimiteerd in toepassingen. Verder is het belangrijk om mee te wegen dat de driehoeksmosselen specifiek filteren; daarmee nemen zij ook andere verontreinigingen zoals o.a. zware metalen of microbiologische gifstoffen (zoals blauwalgtoxines of botuline) op, welke ook opgeslagen worden in hun biomassa of slib.

**BEOORDELING VAN DE TECHNOLOGIE OP CRITERIUM 12**

Volgens de schaal van dit criterium valt geogst fosfor dat geschikt is voor hergebruik in specifieke toepassingen in de middelste beoordeling voor de drie referentiecassussen<sup>42</sup>.

TABEL 5.12

BEOORDELING OP CRITERIUM 12 OP BASIS VAN AANGELEVERDE BUSINESSCASE

	40 m <sup>3</sup> /u (middel)	150 m <sup>3</sup> /u (middelgroot)	600 m <sup>3</sup> /u (groot)
beoordeling criterium	specifieke toepassing	specifieke toepassing	specifieke toepassing

41 In deze waardebeoordeling is niet meegenomen of de mosselen geschikt zijn voor menselijke consumptie. *Dreissena* soorten worden niet commercieel gekweekt voor dit doeleinde, mede vanwege de kleinere afmetingen dan de veelgegeten mosselen. Als de driehoeksmossel ingezet wordt als zuiveringsstap in oppervlaktewateren met een waterkwaliteitsdoelstelling is er waarschijnlijk een risico op mosselen van slechte kwaliteit.

42 Echter met de kanttekening dat valorisatie nog hypothetisch is.

### 5.3 CONCLUSIE

De drijvende bak waarin driehoeksmosselen worden gekweekt, is in staat de helderheid van water sterk te verhogen, doordat gesuspenseerd materiaal verwijderd wordt. Daarmee kan in theorie een meerwaarde gecreëerd worden voor waterkwaliteit als de mosselbak gekoppeld wordt aan een TEO-installatie waar toch al water verpompt wordt. Het systeem verwijdert echter geen opgelost P, en is dus vooral efficiënt om P te verwijderen als dit aanwezig is in particuliere vorm. Bij hoge ortho-P-concentraties zal daarom de meerwaarde lager zijn. De drijvende mosselbak scoort goed op de toetsingscriteria grondstoffengebruik, afvalproductie, gebruik van chemicaliën en milieuvreemde stoffen en energieverbruik (zie afbeelding 5.3). Een aandachtspunt is de mogelijkheid tot hergebruik van geoogst fosfor. Het onderzoeken van deze mogelijkheden valt buiten de scope van deze waardebeoordeling, maar is wel belangrijk om de meerwaarde op fosforhergebruik goed te kunnen inschatten.

Het systeem lijkt nog weinig zekerheid te bieden wat zuiveringsprestaties betreft; de resultaten van verschillende onderzoeken wijzen uit dat de verwijdering van nutriënten sterk varieert en afhankelijk is van de plaatselijke omstandigheden<sup>43,44,45</sup>. In deze waardebeoordeling wordt uitgegaan van optimale groei, maar in de praktijk zullen de zuiveringsprestaties, afmetingen en haalbaarheid sterk afhangen van abiotische en biotische factoren die variëren tussen locaties en seizoenen. Dat maakt dit systeem meer geschikt voor minder kwetsbare gebieden waar toch een wens bestaat laagdrempelig P te verwijderen. Als de eis voor P-verlaging strikter is en prestaties beter controleerbaar moeten zijn, is deze oplossing wellicht niet geschikt.

Het ruimtegebruik zal een grote limiterende factor zijn voor de toepasbaarheid: bij de wens om het volledige debiet te behandelen zijn mogelijk zeer grote hoeveelheden mosselen benodigd, wat veel ruimte zal vragen. Zo is voor de behandeling van 40 m<sup>3</sup>/u (de middelgrote TEO-installatie) ingeschat dat al circa 50 m<sup>2</sup> aan mosselbak nodig zal zijn en bij 600 m<sup>3</sup>/u wel 720 m<sup>2</sup>. Optimale groei zal echter enkel gerealiseerd kunnen worden als de mosselbak en mosselen goed worden onderhouden, door regelmatige reiniging, oogsten van mosselen en verwijdering van dode mosselen, wat zeer complex wordt bij behandeling van grotere watervolumes en dus grotere oppervlakten aan mosselbakken. In deze uitwerking is daarnaast niet onderzocht hoe groot één mosselbak maximaal kan zijn om het drijfvermogen te behouden met voldoende bodemstevigheid. De drijvende bakken kunnen daarbij ook een negatief effect hebben op diepere waterlagen. Inzet van de mosselbak is dus niet realistisch voor elke schaalgrootte; de hoeveelheden en afmetingen zullen een sterk effect hebben op bedrijfszekerheid (mogelijkheid tot onderhoud, ziektes/parasieten, drijfvermogen, invloed op lokale hydrologische omstandigheden en overige flora/fauna, etc.). Het behandelen van een deelstroom of de dichtheid van mosselen vergroten<sup>46</sup> zou een alternatieve keuze kunnen zijn, alsmede het verplaatsen van de bakken naar het land<sup>47</sup>.

43 Een biologisch filter: haalbaar of niet? DBW/Riza nota 89.059, 1989.

44 Waterzuivering door Driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) in het Volkerak-Zoommeer: De inzet van een mosselbak in de Steenbergse Vliet, TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (2004).

45 Inzet van Driehoeksmosselen bij biologisch waterbeheer; resultaten van veldexperimenten. H2O 27, 1994, nr 6.

46 In deze uitwerking is een aanname gedaan op basis van beschikbare informatie. Het is goed mogelijk dat het aantal te kweken mosselen per m<sup>2</sup> aanzienlijk verhoogd kan worden.

47 Het verplaatsen van de bakken is niet uitgewerkt in deze waardebeoordeling, aangezien dit een compleet ander concept betreft. Het ruimtegebruik en gevolgen voor het aquatische systeem wordt hiermee verplaatst, maar civiele en werktuigbouwkundige aspecten zijn dan ook anders dan bij het concept van drijvende bakken.

Zoals eerder beschreven zijn verschillende factoren nog onbekend en/of afhankelijk van lokale omstandigheden (zie ook paragraaf 5.1.1). In de waardebeoordeling zijn deze factoren nog niet meegenomen; het is aan te bevelen per gewenste locatie te bepalen of het realistisch is de drijvende mosselbak in te zetten en in welke configuratie en afmeting. De uitwerking is nu gebaseerd op ruwe inschattingen en voor daadwerkelijke toepassing is verdere uitwerking op basis van een volledige businesscase of haalbaarheidsstudie raadzaam. Eventuele inzet dient afgestemd te worden met Bureau Waardenburg als patentdrager; waarbij opgemerkt moet worden dat zij de driehoeksmossel zelf niet meer inzetten omdat deze door waterbeheerders als exoot beschouwd wordt. In gebieden waar de mossel al voorkomt kan gekozen worden voor enkel de plaatsing van geschikt substraat: mosselaangroei kan dan mogelijk vanzelf plaatsvinden. Hierbij kan het enige tijd duren voor significante P-verwijdering plaatsvindt.

**AFBEELDING 5.3 SAMENVATTING VAN DE SCORE VAN DE DRIJVENDE MOSSSELBAK OP DE TOETSINGSCRITERIA. DE KLEUREN ZIJN INDICATIEF VOOR DE SCORE OP DE 12 TOETSINGSCRITERIA: LAAGSTE SCORE - ROOD; ÉÉN-NA-LAAGSTE - ORANJE; GEMIDDELD - GEEL; ÉÉN-NA-HOOGSTE - LICHTGROEN; HOOGSTE - DONKERGROEN**

DRIJVENDE MOSSSELBAK Criteria	TEO middel 250 WEQ   40 m <sup>3</sup> /u	TEO middelgroot 1.000 WEQ   150 m <sup>3</sup> /u	TEO groot 4.000 WEQ   600 m <sup>3</sup> /u
1a ortho-P	geen afname	geen afname	geen afname
1b gesuspendeerd P	matig (25-50 %)	matig (25-50 %)	matig (25-50 %)
2 invloed warmtewinning	geen invloed	geen invloed	geen invloed
3 ruimtebeslag	< 50 %	< 50 %	vergelijkbaar
4 onderhoudsbehoefte	hoger dan TEO alleen	hoger dan TEO alleen	hoger dan TEO alleen
5 schaarse grondstoffen	geen gebruik	geen gebruik	geen gebruik
6 afvalproductie	veel lager < 80 %	veel lager < 80 %	veel lager < 80 %
7 chemicaliën	geen gebruik	geen gebruik	geen gebruik
8 energie	< 1 % van opbrengst	< 1 % van opbrengst	< 1 % van opbrengst
9 kosten/verwijderde kg P	lager (< 50 %)	lager (< 50 %)	lager (< 50 %)
10 milieuvreemde stoffen	geen gebruik	geen gebruik	geen gebruik
11 flora en fauna	meer schade	meer schade	meer schade
12 fosfor hergebruik	specifiek	specifiek	specifiek



# 6

## MEERWAARDE COMBINATIES ONDERLING OF MET OVERIGE INZENDINGEN

### 6.1 MEERWAARDE VAN COMBINATIES

Na het uitvoeren van de individuele waardebeoordelingen is aanvullend beoordeeld of er een meerwaarde te creëren is door een combinatie van de winnende inzendingen, en of bij de overige inzendingen ideeën aanwezig zijn die een of meerdere van de winnende ideeën kunnen versterken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van informatie in de beschrijvingen van de ideeën en een gezamenlijk overleg met de begeleidingsgroep. De focus ligt hierbij op de punten waar de drie ideeën zwakker zijn bevonden in de waardebeoordelingen, maar is ook verkend of er goed scorende elementen zijn die verder versterkt kunnen worden.

#### 6.1.1 TOEPASBAARHEID OVERIGE INZENDINGEN

In totaal zijn zeventien ideeën ingediend; naast de drie winnende inzendingen zijn dat de volgende voorstellen:

##### 1. TEOYSTER

Vertrouwelijk; deze informatie is wel gedeeld binnen het team. Voor deze inzending is op basis van beschikbare informatie geen meerwaarde voorzien bij inzet ter versterking van één van de winnende ideeën.

##### 2. SYSTEEM ZOET

Vertrouwelijk; deze informatie is wel gedeeld binnen het team. Deze inzending betreft een flexibele opzet voor waterkwaliteitsverbetering en schone energie (ZOET: Zuiverend, Opwarmend, Ecologieverbeterend, TEOpasbaar). Voor deze inzending is op basis van beschikbare informatie geen meerwaarde voorzien bij inzet ter versterking van één van de winnende ideeën.

##### 3. CONCEPT THERMISCHE ENERGIE STOLLINGSWARMTE UIT OPPERVLAKTEWATER (TES)

Vertrouwelijk; deze informatie is wel gedeeld binnen het team. Voor deze inzending is op basis van beschikbare informatie geen meerwaarde voorzien bij inzet ter versterking van één van de winnende ideeën.

##### 4. VERSCHILLENDE TECHNIEKEN

Geen van de benoemde technieken (waaronder ook inzet van mosselen) is gedetailleerd genoeg uitgewerkt om te beoordelen in deze context. Voor deze inzending is op basis van beschikbare informatie geen meerwaarde voorzien bij inzet ter versterking van één van de winnende ideeën.

## 5. AQUATHERMIE TOT DE MACHT $4 = AT^4$

Deze inzending introduceert een compleet nieuwe techniek voor thermische energie, welke gebruik maakt van rioolwater (en geen oppervlaktewater). Het mechanisme voor P-verwijdering is niet verder toegelicht. Voor deze inzending is op basis van beschikbare informatie geen meerwaarde voorzien bij inzet ter versterking van één van de winnende ideeën.

## 6. NUTRITHERM

Duurzame warmte en schoner oppervlaktewater met een aquathermische waterkwaliteit-verbeteraar. Deze inzending betreft een reeds gecommercialiseerd concept in samenwerking tussen Tauw en Syntraal. Twee opties worden genoemd: electrocoagulatie en ‘oud ijzer’. Deze inzending heeft daarbij een eigen warmtewisselaar ontworpen en lijkt niet toepasbaar bij bestaande TEO-installaties. Voor deze inzending is geen meerwaarde voorzien bij inzet ter versterking van één van de winnende ideeën.

## 7. CHILL OUT PHOSPHATE (COP)

Deze inzending is gebaseerd op vrieskristallisatie en behoeft een compleet nieuwe (complexe en dure) techniek voor TEO en lijkt niet toepasbaar bij bestaande TEO-installaties. Voor deze inzending is op basis van beschikbare informatie geen meerwaarde voorzien bij inzet ter versterking van één van de winnende ideeën.

## 8. MYCOFOR

Deze inzending betreft het aquatisch mycelium project van Gevouwen Oevers, gericht op opname van nutriënten door drijvende eilanden van mycelium (schimmeldraden). Drijvende eilanden, los van de TEO-installatie, kunnen beschouwd worden als een meerwaarde voor elk van de ideeën. Dit concept valt echter buiten de toetsingscriteria die gebruikt zijn in de maatschappelijke waardebeoordelingen én drijvende eilanden waren ook een onderdeel van de inzending van de Nutreact bioreactor. Voor deze inzending is op basis van beschikbare informatie geen meerwaarde voorzien bij inzet ter versterking van één van de winnende ideeën.

## 9. FOSFAATWARMTE

Deze inzending omschrijft een schakeling van technieken maar deze zijn niet uitgewerkt. Wel wordt ultrasoon geluid gesuggereerd om eventuele blauwalgen te desintegreren. Deze specifieke stap kan interessant zijn op locaties waar het innamewater van de TEO-installatie veel biomassa bevat, en kan daarmee beschouwd worden als een meerwaarde voor elk van de ideeën. Dit concept valt echter buiten de toetsingscriteria die gebruikt zijn in de maatschappelijke waardebeoordelingen. Voor deze inzending is op basis van beschikbare informatie geen meerwaarde voorzien bij inzet ter versterking van één van de winnende ideeën.

## 10. ULTRAFIJNE LUCHTBELLEN VOOR ECOLOGISCH HERSTEL

Dit concept is ingestuurd door een Waterinnovatie-nominee 2021, gebaseerd op de WaterQi pilot in 2019. Het concept maakt gebruik van nano- tot microluchtbelletjes om chemische processen te stimuleren (oxidatie?). Dit kan interessant zijn ná TEO om water te ‘ecologiseren’ voor het weer geloosd wordt en kan daarmee beschouwd worden als een meerwaarde voor elk van de ideeën. Dit concept valt echter buiten de toetsingscriteria die gebruikt zijn in de maatschappelijke waardebeoordelingen. Voor deze inzending is geen meerwaarde voorzien bij inzet ter versterking van één van de winnende ideeën.

### 11. ZACHT EN SCHOON

Deze inzending betreft doekfiltratie, welke zeer effectief is in de verwijdering van gesuspendeerd P en in enige mate de verwijdering van ortho-P. Bij de technieken die gesuspendeerd P (en ortho-P) minder goed verwijderen kan deze doekfiltratie als extra stap toegevoegd worden. Voor deze inzending is dus een meerwaarde voorzien als gesuspendeerd P aanvullend verwijderd dient te worden.

### 12. TWEE VLIEGEN IN ÉÉN KLAP.

Deze inzending stelt voor gebruik te maken van bestaande technieken om thermische energie uit oppervlaktewater en het verwijderen van fosfor uit oppervlaktewater te combineren. Een belangrijk aspect is binding van ortho-P aan ijzerhoudend slib, gevolgd door struvietvorming. Voor struviet is al wel een markt voorzien; voor deze inzending is een meerwaarde voorzien als ortho-P aanvullend verwijderd dient te worden.

### 13. MODULAIR WATER BENUTTING SYSTEEM

Vergelijkbaar concept als ‘2 vliegen in 1 klap’ (binding aan ijzer); voor deze inzending is een meerwaarde voorzien als ortho-P aanvullend verwijderd dient te worden.

### 14. FUN OP FOSFOR

Berust net als ‘2 vliegen in 1 klap’ en ‘modulair water’ op binding aan ijzerhoudend slib, maar gecombineerd met een recreatiegebied (bijv. skihelling) door benodigde ruimtes te ‘begraven’. Voor deze inzending is een meerwaarde voorzien als ortho-P aanvullend verwijderd dient te worden. Verder is het gebruik van de ruimte voor recreatie een meerwaarde voor elk van de ideeën, maar dit concept valt echter buiten de toetsingscriteria die gebruikt zijn in de maatschappelijke waardebeoordelingen.

#### 6.1.2 MOGELIJKE MEERWAARDE OVERIGE INZENDINGEN

Samenvattend zijn bij de overige inzendingen verschillende aspecten aan te wijzen die een meerwaarde kunnen creëren in elk oppervlaktewater en zuiverings- of TEO-installatie, te weten ‘Mycofor’ (drijvende eilanden; ook onderdeel van inzending Nutreact bioreactor); ‘Fosfaatwarmte’ (toepassing ultrasoon geluid); ‘Ultrafijne luchtbellen’ (ecologiseren van uitlaatwater), en ‘Fun op fosfor’ (combinatie met recreatiegebied). Deze concepten zijn dus interessant om te overwegen in elke situatie, maar zijn niet onderscheidend op de toetsingscriteria die gebruikt zijn in de maatschappelijke waardebeoordelingen. Deze inzendingen worden hier dus niet beschouwd als versterkend voor de ingezonden ideeën.

Daarnaast zijn er enkele ideeën die gebruik maken van een vergelijkbaar concept, namelijk P-binding met behulp van ijzerhoudend zand, slib of ander materiaal (‘Twee vliegen in één klap’; ‘Modulair water’; ‘Fun op fosfor’ en ‘Nutritherm’). Dit concept wordt hier als verzameling beschouwd als een meerwaarde als ortho-P en gesuspendeerd P aanvullend verwijderd dienen te worden. Tot slot benut één van de inzendingen doekfiltratie (‘Zacht en schoon’), welke beschouwd wordt als een meerwaarde als P aanvullend verwijderd moet worden. De overige inzendingen lijken geen meerwaarde te creëren bij combinatie met één of meerdere van de winnende inzendingen.

### 6.1.3 SAMENVATTING WINNENDE IDEEËN

Afbeelding 6.1 vat de score samen van de winnende ideeën, voor de drie referentie-TEO-installaties, om inzichtelijk te maken op welke punten de ideeën minder goed scoren. Zo kan het zoekgebied bepaald worden waarbinnen een meerwaarde gecreëerd kan worden door combinatie met een andere inzending.

AFBEELDING 6.1 SAMENVATTING VAN DE SCORE VAN DE DRIE INZENDINGEN OP DE TOETSINGSCRITEERIA, VOOR DE DRIE REFERENTIE TEO-INSTALLATIES. DE SCHAALVERDELING (1-3, 1-4 OF 1-5) IS WEERGEGEVEN VOOR ELK CRITERIUM EN INGEDEELD OP BASIS VAN DE VOLGENDE KLEURCODERING: LAAGSTE SCORE-PAARS; EEN-NA-LAAGSTE-ROOD; GEMIDDELD-ORANJE; ÉÉN-NA-HOOGSTE-GEEL; HOOGSTE-GROEN

SAMENVATTING Criteria	TEO middel 250 WEQ   40 m <sup>3</sup> /u			TEO middelgroot 1.000 WEQ   150 m <sup>3</sup> /u			TEO groot 4.000 WEQ   600 m <sup>3</sup> /u		
	BioPhree	Nutreact	Mosselbak	BioPhree	Nutreact	Mosselbak	BioPhree	Nutreact	Mosselbak
1a ortho-P	Geel	Geel	Rood	Geel	Geel	Rood	Geel	Geel	Rood
1b gesuspendeerd P	Geel	Geel	Oranje	Geel	Geel	Oranje	Geel	Geel	Oranje
2 invloed warmtewinning	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel
3 ruimtebeslag	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel
4 onderhoudsbehoefte	Rood	Geel	Oranje	Rood	Geel	Oranje	Rood	Geel	Oranje
5 schaarse grondstoffen	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel
6 afvalproductie	Geel	Oranje	Geel	Geel	Oranje	Geel	Geel	Oranje	Geel
7 chemicaliën	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel
8 energie	Geel	Oranje	Geel	Geel	Oranje	Geel	Geel	Oranje	Geel
9 kosten/verwijderde kg P	Rood	Oranje	Geel	Rood	Oranje	Geel	Rood	Oranje	Geel
10 milieuvreemde stoffen	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel	Geel
11 flora en fauna	Geel	Geel	Rood	Geel	Geel	Rood	Geel	Geel	Rood
12 fosfor hergebruik	Geel	Oranje	Geel	Geel	Oranje	Geel	Geel	Oranje	Geel

### 6.1.4 KANSEN BIJ INZET BIOPHREE

BioPhree is een vrij constante technologie, welke over het algemeen goed toepasbaar lijkt op elke schaalgrootte en weinig verschil laat zien tussen de schaalgroottes. Criteria waar lager gescoord wordt en dus een combinatie met andere ideeën interessant kan zijn, zijn vooral ruimtebeslag, onderhoudsbehoefte en kosten.

De score op ruimtebeslag lijkt voor de drie inzendingen vergelijkbaar, hoewel bij BioPhree het ruimtebeslag relatief minder wordt bij de grootste schaal (dus zelfs beter scoort). De benodigde ruimte is daarnaast in de praktijkproeven door Aquacare nog vrij ruim genomen (binnen een zeecontainer), maar bij opschaling is efficiënter ruimtegebruik goed mogelijk. Op dit criterium lijkt weinig meerwaarde te behalen door het inzetten van een éxtra techniek, die ook weer een minimale ruimte inneemt.

Verder lijken vooral de onderhoudsbehoefte en kosten een belangrijke rol te spelen in de haalbaarheid. Een deel van de kosten is echter verweven met de investerings-, operationele en onderhoudskosten van enkel de pompen, welke niet gemakkelijk te onderscheiden zijn op basis van de informatie die gebruikt is in deze waardebepaling (zie ook paragraaf 3.3). Door slim gebruik te maken van een voorfilter, pompcapaciteit en al beschikbare ruimte kan aanzienlijk bespaard worden op deze aspecten. Om hier een helder beeld van te krijgen zal per beoogde locatie of referentie in elk geval een grof schetsontwerp gemaakt moeten worden. Een meerwaarde creëren op deze punten door een combinatie met een andere technologie lijkt echter niet aannemelijk. Een extra technologie inzetten náást de BioPhree zal weinig invloed hebben op de investeringskosten en onderhoud, als nog steeds het gehele beoogde debiet behandeld wordt.

Verder wordt bij inzet van BioPhree ortho-P in een geconcentreerde oplossing 'opgeslagen'; hier wordt aangenomen dat deze stroom te valoriseren is. Gesuspendeerd P wordt echter verwijderd door het voorfilter dat onderdeel is van de BioPhree installatie en is daarmee moeilijk terug te winnen. Een combinatie met een technologie die gesuspendeerd P wél beter

weet terug te winnen kan hier een extra meerwaarde brengen. Vanuit de overige inzendingen kwam voor die toepassing enkel het doekfilter (“Zacht en schoon”) naar voren; echter het voorfilter van de BioPhree zelf kan ook een doekfilter zijn. Dat maakt voor de BioPhree een koppeling met een andere inzending niet logisch.

#### **6.1.5 KANSEN BIJ INZET NUTREACT BIOREACTOR**

De Nutreact bioreactor scoort op de meeste criteria al vrij hoog en laat weinig verschil zien tussen de schaalgroottes. Criteria waar lager gescoord wordt en dus een combinatie met andere ideeën interessant kan zijn, zijn vooral ruimtegebruik, afvalproductie, kosten en de mogelijkheid tot P-hergebruik.

De score op ruimtebeslag lijkt voor de drie inzendingen vergelijkbaar, en is voor de bioreactor ook niet sterk afhankelijk van de schaalgrootte van de TEO-installatie. Bij opschaling is efficiënter ruimtegebruik voor de bioreactor goed mogelijk, en afhankelijk van het daadwerkelijke ontwerp en beschikbare ruimte bij de TEO-installatie. Op dit criterium lijkt weinig meerwaarde te behalen door het inzetten van een éxtra techniek, die ook weer een minimale ruimte inneemt.

De afvalproductie van de Nutreact bioreactor lijkt hier ook een aspect waar verhoging van de score mogelijk is, maar deze is nu beschouwd als vergelijkbaar met de referentietechnologie voor P-verwijdering, chemische defosfatering. Hier zit echter een onzekerheid in door de classificatie van het dragermateriaal; als dit niet als afval beschouwd wordt, scoort de techniek wellicht beter op afvalproductie dan chemische defosfatering. Hier valt geen meerwaarde te creëren door combinatie met andere technologieën.

Verder spelen de kosten een belangrijke rol in de toetsing. Net als bij BioPhree is hier een deel van de kosten moeilijk uit te splitsen; daarnaast bepaalt het beheer en aankoop van azijnzuur (als koolstofbron) een groot deel van de jaarlijkse kosten, naast de investering. Een meerwaarde creëren op deze punten door een combinatie met een andere technologie lijkt niet aannemelijk. Een extra technologie inzetten náást de bioreactor zal weinig invloed hebben, als nog steeds het gehele beoogde debiet behandeld wordt.

Hergebruik van geogst fosfor is nog moeilijk te beoordelen, omdat er nog geen duidelijke valorisatieroutes zijn. Ook hier valt geen meerwaarde te creëren door combinatie met andere technologieën. Dat maakt voor de Nutreact bioreactor een koppeling met een andere inzending niet logisch.

#### **6.1.6 KANSEN BIJ INZET DRIJVENDE MOSSELBAK**

De drijvende mosselbak heeft in onderzoeken al laten zien dat deze goed toepasbaar is en mogelijk heel laagdrempelig. Het behandelen van het complete debiet dat beoogd is bij de drie referentiecasses lijkt niet realistisch, maar als relatief goedkope en simpele oplossing kan de drijvende mosselbak goed ingezet worden in oppervlaktewateren zonder strenge waterkwaliteitsdoelstellingen. Criteria waar lager gescoord wordt bij behandeling van een vast debiet, en waar dus een combinatie met andere ideeën interessant kan zijn, zijn vooral P-verwijdering, ruimtegebruik, onderhoudsbehoefte en de mogelijkheid tot P-hergebruik.

Door de drijvende mosselbak wordt gesuspendeerd P matig verwijderd (met weinig controleerbaarheid) en ortho-P vrijwel niet. Hier wordt dus wel een koppelkans gezien met een technologie die een hogere P-verwijdering heeft.

Het ruimtegebruik wordt bij de drijvende mosselbak relatief groter bij een toename in schaalgrootte, ten opzichte van de referentietechnologie chemische defosfatering. De benodigde ruimte is echter sterk afhankelijk van de hoeveelheid mosselen die gekweekt kan worden per m<sup>2</sup>, een aspect waar nog nader onderzoek voor nodig is. De andere twee ingezonden technologieën en chemische defosfateringsinstallatie vallen in dezelfde orde grootte wat afmetingen betreft, en zijn gemiddeld wat kleiner dan de drijvende mosselbak als dezelfde debieten behandeld worden. Op dit criterium lijkt weinig meerwaarde te behalen door het inzetten van een éxtra techniek, die ook weer een minimale ruimte inneemt.

Het onderhoud van de drijvende mosselbak wordt vooral zeer complex bij toenemende schaalgroottes, dus meerwaarde creëren door een combinatie met een andere technologie lijkt niet aannemelijk op dit criterium. Een extra technologie inzetten na de mosselbak zal weinig invloed hebben op de schaalgrootte, als nog steeds het gehele beoogde debiet behandeld wordt. Door een extra technologie toe te voegen zal de totale grootte en dus complexiteit van onderhoud wellicht nog verder toenemen.

De mogelijkheden tot hergebruik van geoogst fosfor zijn ook voor de mosselen en het (gemengde) slib moeilijk te beoordelen, omdat er nog geen duidelijke valorisatieroutes zijn. Echter, als gekozen wordt voor aanvullende inzet van bijvoorbeeld ijzerrijk zand of slib kan meer P teruggewonnen worden in de vorm van struviet, waarvoor al een valorisatieroute bestaat.

Voor de drijvende mosselbak lijkt een meerwaarde mogelijk te zijn door deze te combineren met een techniek die gesuspenderd P en ortho-P aanvullend kan verwijderen. Van de overige inzendingen lijkt vooral toepassing van ijzerrijk zand of slib (één van de technieken beschreven in paragraaf 6.1.2) tussen de mosselbak en de TEO-installatie kansrijk. Hiermee wordt ook het risico verkleind op een verhoging van de mosselaangroei in de leidingen. Dit betekent dat er minder onderhoud nodig is, doordat mossellarven of zaad de TEO-installatie niet meer ingevoerd worden.

#### **DRIJVENDE MOSSELBAK GECOMBINEERD MET IJZERRIJK MATERIAAL**

Ijzerhoudend zand, slib of ander materiaal wordt genoemd in verschillende van de overige inzendingen ('Twee vliegen in één klap'; 'Modulair water'; 'Fun op fosfor' en 'Nutritherm'). In geen van deze inzendingen is informatie aangeleverd over de mate waarin P verwijderd wordt, hoe groot een dergelijke opstelling moet zijn en wat er benodigd is aan onderhoud. Deze combinatie vergt dus nadere uitwerking op basis van praktijkgegevens, maar lijkt inzetbaar. Hier kan nog gekozen worden om enkel een deelstroom door het aanvullende ijzerfilter te voeren.

Voor deze combinatie geldt dat een nauwkeuriger uitwerking nodig is om meer inzicht te verkrijgen in de daadwerkelijke meerwaarde. Om dit goed in te kunnen schatten is meer informatie benodigd dan nu beschikbaar is, en is het wenselijk deze combinatie volgens dezelfde criteria te toetsen. Als het complete referentiedebiet (voor de drie schaalgroottes) behandeld wordt met beide technieken betekent dit vooral voor ruimtebeslag, onderhoud, en kosten mogelijk een optelsom van de twee technieken. Dit kan eventueel gecompenseerd worden door de valorisatie van P, maar of dit rendabel is, kan met de aangeleverde informatie niet beoordeeld worden. Een mogelijke uitkomst is dat het meer rendabel is om de drijvende mosselbak te vervangen door filtratie met ijzerrijk materiaal, en niet om deze als aanvulling te zien.

# 7

## CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Op basis van de maatschappelijke waardebepalingen is voor de drie winnende ideeën een beeld verkregen van de haalbaarheid: een koppeling tussen TEO en P-verwijdering lijkt inderdaad een waardevolle toevoeging aan het palet aan maatregelen dat in het waterbeheer kan worden toegepast. Een groot voordeel ligt voor de drie technieken bij de afwezigheid van coagulantdosering (Fe of Al), in tegenstelling tot chemische defosfatering. Coagulant wordt daarbij meestal gedoseerd op basis van de hoogst gemeten P-concentratie, wat meestal resulteert in een overdosering en mogelijk schadelijke effecten.

De drie ideeën bevinden zich echter nog vooral op conceptueel of pilotniveau, waardoor opschaalbaarheid een belangrijk aandachtspunt is om de meekoppelkansen tussen TEO en P-verwijdering te kunnen verzilveren. De criteria voor beoordeling van de ingebrachte ideeën bieden daarom geen uniform, pasklaar antwoord op de haalbaarheid van P-verwijdering bij alle TEO-installaties. P-verwijdering zal dan ook niet bij elke TEO-installatie een optie zijn, maar op een select aantal locaties kan een deze extra stap een heel waardevol middel in het waterkwaliteitsbeheer zijn. Vooral de BioPhree en Nutreact lijken goed toepasbaar onder een breed scala aan omstandigheden met een aanzienlijke controleerbaarheid, maar tegen wat hogere kosten. Driehoeksmosselen zijn al eerder toegepast, maar hier zijn meer randvoorwaarden van toepassing voor succesvolle inzet.

De volgende stap is toepassing van de ingezonden technologieën op pilotschaal of demoschaal, waarbij dit rapport gebruikt kan worden om te bepalen welke techniek het best inzetbaar is. Het huidige rapport biedt nadrukkelijk geen vergelijking tussen de drie technieken of een weging van de toetsingscriteria. Bij toepassing op een specifieke casus is het raadzaam wél die specifieke vergelijking te maken en een weging te koppelen aan de toetsingscriteria<sup>48</sup>. Voor de inzet van de technieken kan contact worden opgenomen met de inzenders via onderstaande gegevens:

BioPhree  
**AQUACARE**  
 www.aquacare.nl  
 Graaf van Solmsweg 56 – 58  
 5222 BP 's-Hertogenbosch  
 Pim de Jager  
 pdjager@aquacare.nl  
 +31 73 624 71 71

Nutreact bioreactor  
**AVECOM NV**  
 www.avecom.be  
 Industrieweg 122 P  
 9032 Wondelgem (België)  
 Stijn Boeren  
 stijn.boeren@avecom.be  
 +32 9 375 17 14  
 +32 473 21 51 16

Drijvende mosselbak  
**SAMENWARM**  
 www.samenwarm.nl  
 Tupolevlaan 41  
 1119 NW Schiphol-Rijk  
 Jarno van Westreenen jarno.van.westreenen@samenwarm.nl  
 +31 23 556 31 25  
 +31 6 26 16 89 04

48 Uiteraard is het spectrum aan mogelijkheden niet gelimiteerd tot deze drie opties.