



Water in the Circular Economy
WiCE 2025.007 | Mei 2026

**WiCE Kansen voor
Geconcentreerde
Reststromen: gebruik
je brijn als je circulair
wilt zijn**

Maatschappelijke waarden analyse

Colofon

WiCE Kansen voor Geconcentreerde Reststromen - Maatschappelijke waarden analyse

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van WiCE, het collectieve onderzoeksprogramma van KWR, de waterbedrijven, Vewin en hun partners in de circulaire economie.

WiCE 2025.007 | Mei 2026

Projectnummer

403997

Projectmanager

Julian Muñoz-Sierra

Opdrachtgever

WiCE, Aquafin, Aquaminerals, Glastuinbouw Nederland / Stichting Kennis in je Kas, Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard, HVC, SCW Systems, Waterschap Rivierenland. *Dit project is mede tot stand gekomen in het kader van het innovatieprogramma 'Glastuinbouw Waterproof' van Glastuinbouw Nederland en mede gefinancierd door de Stichting Kennis in je Kas.*

Auteur(s)

Fabi van Berkel, Thom van Harten, Ron Jong*, Luuk de Waal

*huidig werkzaam bij Waternet

Kwaliteitsborger(s)

Jos Frijns

Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder deelnemers aan het WiCE Kansen voor Geconcentreerde Reststromen project.

Openbaarheid

Dit rapport is één jaar na publicatie vertrouwelijk en wordt na deze periode openbaar.

Keywords

Maatschappelijke waarden analyse, DONUT model, brak grondwater, superkritische water vergassing

Jaar van publicatie
2026

Meer informatie

Luuk de Waal
T 06-53341973
E luuk.de.waal@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

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

The logo for KWR (Knowledge and Water Research) consists of the letters 'KWR' in a bold, blue, sans-serif font.

Mei 2026 ©

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

Samenvatting

Omgekeerde osmose (RO) is in opkomst als techniek voor waterhergebruik, het scheidt op een effectieve wijze alle microverontreinigingen en zouten in een permeaat en geconcentreerde reststroom. Dit permeaat is van hoge kwaliteit en kan hoogwaardig worden gebruikt in de industrie maar ook onder andere in de tuinbouwsector en voor drinkwaterbereiding. Echter de ontstane geconcentreerde reststroom is moeilijk duurzaam te verwerken en bevat (bijna) alle vervuiling van de ingaande stroom. RO is dus een manier om hoogwaardig zoet water te winnen uit een vervuilde bron alleen het lost het probleem van de vervuiling niet op; de verontreiniging komt (in geconcentreerde vorm) terug in de waterkringloop. Dit onderzoek verkent twee oplossingsrichtingen voor de uitdagingen van dergelijke geconcentreerde reststromen, Zero Liquid Discharge (ZLD), en Superkritisch Water Vergassing (SKWV). Voor beide innovatie paden is de bijdrage aan de circulaire economie en de impact op de maatschappij onderzocht. De innovatierichting ZLD draait om duurzame waterwinning voor de tuinbouwsector in het Westland. De innovatierichting SKWV gaat om het verwerken van de geconcentreerde reststroom doormiddel van het superkritisch co-vergassen, dit is uitgewerkt voor de rioolwaterzuivering in Alkmaar.

In dit onderzoek zijn twee analysekaders gekozen om de impact op de circulaire economie en de maatschappij te beoordelen. Het gaat om het Missie Innovatie Systeem (MIS) ontwikkeld door Elzinga et al. (2020) [1] en Het Donut Model voor de Circulaire Waterketen ontwikkeld door Segrave, van Alphen en Roest 2020 [2]. Samen beschouwen deze kaders de oplossingsrichtingen op een complementaire en strategisch niveau en leggen de verbinding met de doelstellingen van Circulair Water 2050. Het MIS kader is gekozen omdat het een goed inzicht biedt in de maatschappelijke context, en de contextuele factoren die opschaling van technologische innovaties hinderen of mogelijk maken. De factoren uit het MIS waarna gekeken is zijn i) tegengaan van weerstand, ii) marktcreatie, iii) coördinatie, iv) druk zetten op het regime, en v) richting geven aan het zoekproces. De factoren in het model zijn meegenomen in de discussies met stakeholders.

Het Donut Model voor de Circulaire Waterketen is gekozen omdat het een holistische inventarisatie is van de diverse waarden rond energie en grondstoffen zoals gebruik van duurzame energie en grondstoffen, grondstoffen- en energieverbruik, grondstoffen en energie terugwinning. Ook worden systeemeigenschappen meegenomen waaronder, ecologische en financiële waarde, zelfvoorzienendheid, integraliteit, en hergebruikpotentie en adaptiviteit. Verder zijn er nog waarden voor de mens meegenomen waaronder, kwaliteit van de leefomgeving, comfort, veiligheid, volksgezondheid en inclusiviteit. Het donut model met haar waarden is gebruikt als scorekaart doormiddel van een score variërend van - - tot ++, en wordt gescoord ten opzichte van de huidige situatie. De scores zijn bepaald op basis van expert kennis, aanvullend onderzoek en berekeningen.

Om te onderzoeken wat superkritisch vergassen kan betekenen voor de circulaire waterketen en de verwerking van organische stoffen, zijn drie verschillende ontwerpalternatieven uitgewerkt en beoordeeld aan de hand van het Donut Model voor de Circulaire Waterketen voor de rioolwaterzuivering in Alkmaar. De ontwerpalternatieven zijn de huidige situatie, een alternatieve situatie met RO en lozing van de geconcentreerde reststroom, en een innovatieve case met RO en deels lozen en deels superkritisch vergassen van de reststroom. Zie Tabel 1 voor een samenvatting van de resultaten van de maatschappelijke waarden analyse van de superkritische vergassen casestudie.

De combinatie van RO en superkritisch vergassen heeft het potentieel om de afvalwaterketen in Alkmaar meer circulair te maken vergeleken met de bestaande en alternatieve installatie. Voordelen van het superkritisch vergassen zijn het gebruik en de terugwinning van duurzame energie, grondstoffen en water, de financiële waarde, de bredere bijdrage aan circulariteit, de ecologische waarde en de volksgezondheid. Er zijn echter ook nadelen, waaronder het toenemende energieverbruik en het hogere verbruik van primaire grondstoffen en water. Daarnaast nemen de zelfvoorzienendheid, hergebruikpotentie, en adaptiviteit van de installatie af en zijn er negatieve effecten op de veiligheid, het comfort en de kwaliteit van de leefomgeving. Van de twee bestudeerde ontwerpalternatieven heeft het innovatieve ontwerpalternatief de meest positieve bijdrage aan de circulaire waterketen. Na reflectie op het MIS model zijn er in combinatie met het Donut Model diverse richtingen gevonden waarin de bijdragen aan de circulaire waterketen verder verbeterd kunnen worden, bijvoorbeeld door het verminderen van de negatieve bijdragen, het coördineren met andere stakeholders, en het opzetten van een markt voor de producten van de vergassing.

Tabel 1 Samenvattingstabel van de maatschappelijke waardenanalyse van de oplossingsrichting Superkritisch Water Vergassing (SKWV).

	Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik	Innovatief ontwerp: Verbonden afval-, water- en energieketen
		Slibstromen verwerken in verbrandingsoven	Slib en geconcentreerde reststroom verwerken in verbrandingsoven	Slib en geconcentreerde reststroom verwerken met superkritische water vergassing
Energie en Stofstromen	Energieverbruik	0	-	- -
	Gebruik duurzame energie	0	0	+
	Terugwinning Energie	0	0	++
	Grondstoffenverbruik	0	-	- -
	Gebruik duurzame grondstoffen- en water	0	0	+
	Terugwinning grondstoffen en water	0	+	++
Systeemeige n schappen	Zelfvoorzienendheid	0	-	- -
	Hergebruikspotentie en Adaptiviteit	0	+	-
	Financiële waarde	0	0	++
	Integraliteit/Multifunctionaliteit	0	+	+
	Ecologische waarde	0	-	+
Waarde voor Mensen	Volksgezondheid	0	0	+
	Veiligheid	0	0	-
	Inclusiviteit	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
	Comfort	0	0	-
	Kwaliteit van de leefomgeving	0	0	-

De impact van ZLD op de circulaire waterketen is bekeken door middel van het uitwerken van een casestudie in het Westland, die bestaat uit drie ontwerpen, te weten: de huidige situatie met injectie van het brijn, een alternatief ontwerp dat loost in zee, en een innovatief ontwerp op basis van ZLD. Zie Tabel 2 voor een samenvatting van de resultaten van de Zero Liquid Discharge casestudie. Het alternatieve ontwerp scoort goed op het gebruik van duurzame grondstoffen en water, de ecologische waarde en het comfort. Nadelen van dit ontwerpalternatief zijn het hogere energieverbruik, het hogere verbruik van primaire grondstoffen en water, de financiële waarde, de beperkte bijdrage aan de circulariteit, en de kwaliteit van de leefomgeving. Het innovatieve ontwerp heeft meer potentie om bij te dragen aan de circulaire waterketen. Dit ontwerpalternatief scoort goed op het gebruik en de terugwinning van duurzame grondstoffen en water, door de brede bijdrage aan circulariteit en de toegenomen veiligheid. Nadelen van het ontwerpalternatief zijn het verbruik van primaire grondstoffen, de financiële waarde en het verminderde comfort. Reflectie op het MIS model in combinatie met de resultaten van de Donut analyse leverde inzichten op die kunnen bijdragen aan het verder brengen van de technologie combinatie. De oplossingsrichting kan verder geholpen worden door te focussen op het verminderen van de negatieve bijdragen aan de circulaire waterketen, met anderen coördineren over de te kiezen oplossingsrichting, weerstand tegen de te introduceren technologie te overwinnen, en door afnemers van de restproducten te vinden.

Tabel 2 Samenvattingstabel van de maatschappelijke waardenanalyse oplossingsrichting Zero Liquid Discharge.

	Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zee	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
Energie en Stofstromen	Verbruik Energie	0	-	0
	Gebruik duurzame Energie	0	0	0
	Terugwinning Energie	0	0	0
	Verbruik Grondstoffen- en Water	0	- -	-
	Gebruik duurzame grondstoffen en water	0	+	+
	Terugwinning grondstoffen- en water	0	0	++
Systeemwaarden	Zelfvoorzienendheid	0	0	0
	Hergebruiks potentie en Adaptiviteit	0	0	0
	Financiële waarde	0	- -	-
	Integraliteit/Multifunctionaliteit	0	-	+
	Ecologische waarde	0	+	++
Waarde voor Mensen	Volksgezondheid	0	0	0
	Veiligheid	0	0	+
	Inclusiviteit	0	0	0
	Comfort	0	+	-
	Kwaliteit van de leefomgeving	0	-	0

De eindconclusie over beide casestudies is dat zowel de alternatieve ontwerpen, als de innovatieve ontwerpen bijdragen aan- én druk leggen op de circulaire (drink)water keten. Het Donut Model voor de Circulaire Economie is een bruikbare tool gebleken om verschillende ontwerpalternatieven met elkaar te vergelijken op uiteenlopende waarde criteria. Hoewel de analyse een holistisch beeld schetst van de verschillende ontwerpalternatieven was het niet mogelijk een duidelijk beter ontwerpalternatief aan te wijzen. Samen met de reflectie op het MIS konden betrokken stakeholders met elkaar in gesprek over verschillende toekomstbeelden op basis van een tweetal concrete casestudies. De reflectie op het MIS is geïnformeerd door de bevindingen uit de analyse van het Donut Model voor de Circulaire Economie en geeft hierdoor ook concrete handvatten voor stakeholders om de oplossingsrichting bij te sturen. Het geheel van de analyse van het Donut Model en de MIS geeft een eerste indruk van de implicaties ten opzichte van de huidig toegepaste geconcentreerde reststroom- verwerkingsmethode(n) en waar kansen liggen voor verder onderzoek.

Inhoud

Colofon	1
Samenvatting	2
Inhoud	8
1 Inleiding	11
1.1 Aanleiding: Toename van RO-gebruik en geconcentreerde reststromen	11
1.2 Probleemstelling en onderzoeksvragen	12
1.3 Onderzoeksaanpak en methoden	12
1.3.1 Aanpak onderzoek technische haalbaarheid	12
1.3.2 Aanpak onderzoek circulaire waardenanalyse	12
1.3.3 Stappen en onderzoeksmethoden in het onderzoek	13
2 Analyse kader Circulaire Waardetoekenning	16
2.1 Monitoringskader missie-gedreven innovatie systemen	16
2.1.1 Achtergrond en ontwikkeling monitoringskader Missie-gedreven innovatiesystemen	16
2.2 Donut Model voor de Circulaire Waterketen	18
2.2.1 Achtergrond en ontwikkeling Donut Model voor de Circulaire Waterketen	18
2.2.2 Kenmerken van het Donut Model voor de Circulaire Waterketen	19
2.2.3 Scorecard voor beoordeling	20
3 Circulaire analyse verwerking organische reststromen doormiddel van superkritische watervergassing	22
3.1 Toepassing RO en superkritische water vergassing: opwerken van RWZI effluent en verwerken organische reststromen	22
3.2 Case Studie: Toepassing RO en superkritische water vergassing in regionale afval(water)keten van Alkmaar	24
3.3 Ontwerpalternatieven voor het gebruik van superkritische water vergassing voor het verwerken van organische reststromen	25
3.3.1 Bestaande situatie: RWZI en export C-kwaliteit hout	26
3.3.2 Alternatief ontwerp: RWZI met UF/RO en export C-kwaliteit hout	27
3.3.3 Innovatief ontwerp: Superkritisch vergassen	29
3.4 Resultaten analyse en beoordeling ontwerpalternatieven	32
3.4.1 Energieverbruik	33
3.4.2 Gebruik duurzame energie	33

3.4.3	Terugwinning Energie	34
3.4.4	Grondstoffen en waterverbruik	34
3.4.5	Gebruik duurzame grondstoffen en water	35
3.4.6	Terugwinning grondstoffen en water	35
3.4.7	Zelfvoorzienendheid	36
3.4.8	Hergebruikspotentie en adaptiviteit	36
3.4.9	Financiële waarde	37
3.4.10	Integraliteit	38
3.4.11	Ecologische waarde	38
3.4.12	Volksgezondheid	39
3.4.13	Veiligheid	39
3.4.14	Inclusiviteit	39
3.4.15	Comfort	40
3.4.16	Kwaliteit van de leefomgeving	40
3.5	Discussie	41
3.6	Reflectie MIS en toekomstperspectief	44
3.7	Conclusie	45
4	Hoge-recovery RO en Zero Liquid Discharge	47
4.1	Toepassing RO en Zero Liquid Discharge: opwerking van brak grondwater in de glastuinbouw	47
4.2	Case studie: toepassing van RO en ZLD bij glastuinbouwer Holstein Flowers	48
4.3	Ontwerpalternatieven voor het gebruik van RO voor het opwerken van brak grondwater naar gietwater	49
4.3.1	Ontwerpalternatief bestaande situatie: injectie van reststromen in de bodem	50
4.3.2	Alternatief ontwerpalternatief: Lozen reststroom op zee	51
4.3.3	Innovatief ontwerpalternatief: Zero liquid discharge	53
4.4	Resultaten analyse en beoordeling ontwerpalternatieven	56
4.4.1	Energieverbruik	57
4.4.2	Gebruik duurzame energie	57
4.4.3	Terugwinning Energie	58
4.4.4	Grondstoffen en Waterverbruik	58
4.4.5	Gebruik duurzame grondstoffen en water	59
4.4.6	Terugwinning grondstoffen en water	59
4.4.7	Zelfvoorzienendheid	60
4.4.8	Hergebruikspotentie en adaptiviteit	61
4.4.9	Financiële waarde	61
4.4.10	Integraliteit	62
4.4.11	Ecologische waarde	62
4.4.12	Volksgezondheid	63
4.4.13	Veiligheid	63
4.4.14	Inclusiviteit	64
4.4.15	Comfort	64
4.4.16	Kwaliteit van de leefomgeving	65
4.5	Discussie	65

4.6	Stakeholderperspectief	68
4.7	Reflectie MIS en toekomstperspectief	69
4.8	Conclusie	71
5	Conclusie	73
6	Bronvermelding	75
	Bijlage I Kenmerken Donut Model voor beoordeling technisch ontwerp in Circulaire Waterketen	77
	Bijlage II Informatieverzameling ZLD	82
	Bijlage III Informatieverzameling superkritische water vergassing	83
	Bijlage IV Aannames rekenfile superkritisch vergassen	89

1 Inleiding

1.1 Aanleiding: Toename van RO-gebruik en geconcentreerde reststromen

Omgekeerde osmosetechnologie (RO; reversed osmosis) is een veelbelovende zuiveringstechniek om hoogwaardig water te produceren uit een (voorbehandeld) voedingswater [3]. Microverontreinigingen (zoals PFAS, medicijnresten, industriële probleemstoffen en microplastics) en zouten uit de voedingsstroom worden verzameld in een geconcentreerde reststroom die – afhankelijk van de mate van voorbehandeling – 10% tot 25% van het totale volume voedingswater heeft. De verwachting is dat het gebruik van RO gaat toenemen, met name bij industrieel waterhergebruik initiatieven. Mogelijk effect van deze ontwikkeling is dat de bronnen voor drinkwaterproductie in Nederland (in toenemende mate) vervuilen met probleemstoffen [4].

Het inzetten van omgekeerde osmose membraanfiltratie scheidingstechniek voor de bereiding van drinkwater is geen oplossing; de Kaderrichtlijn Water (KRW) schrijft immers voor dat de waterkwaliteit zodanig moet zijn dat een eenvoudige zuivering volstaat om er drinkwater van te maken. Het uitbreiden van zuiveringen met membraanfiltratie zuiveringstechnologie staat dus haaks op het EU-beleid [2]. Door het inzetten van membraanfiltratietechniek worden microverontreinigingen en industriële probleemstoffen immers niet verwijderd, voorkomen of beperkt, maar in een reststroom gescheiden van de hoofdstroom en teruggebracht in de waterkringloop. Het toepassen van deze techniek draagt niet bij aan het oplossen van het fundamentele probleem van vervuild water, maar zorgt er wel voor dat vervuild water grotendeels kan worden hergebruikt in diverse sectoren, in het bijzonder de industrie- en agri-sector. Door dit (industriële) hergebruik van (zoet)water kan het gebruik van grondwater, oppervlaktewater of drinkwater beperkt worden en kunnen natuurlijke waterbronnen worden ontlast. Het toepassen van osmosetechnologie draagt bij aan het beperken van waterschaarste dat ontstaat door klimaatverandering en kan gezien worden als manier om kringlopen te sluiten. Daarmee kan het bijdragen aan de transitie naar een circulaire economie.

Osmosetechnologie wordt op dit moment al in verschillende sectoren (o.a. industrie (petrochemie, high-tech, ...), land- en tuinbouw) toegepast. De verwachting bestaat dat omgekeerde osmose in toenemende mate zal worden ingezet in de komende jaren. Omdat bronnen voor drinkwater vervuilen door lozingen [4] en er in 2026 vanuit het drinkwaterbesluit strengere regels gelden met betrekking tot microverontreinigingen (waaronder PFAS) [6], wordt voor 2030 binnen de drinkwatersector een stijging van 47% van het aantal zuiveringslocaties voorzien waar membraanfiltratie zuiveringstechniek toegepast zal gaan worden [5]. En niet alleen de drinkwatersector ondervindt de nadelige gevolgen van (industriële) lozingen; met de herziening van de richtlijn Stedelijk Afvalwater komt er een verplichting aan voor waterschappen om te investeren in een vierde zuiveringsstap waarmee microverontreinigingen en industriële probleemstoffen worden opgevangen. En niet in de laatste plaats wordt de natuur en daarmee de directe leefomgeving van de mens en onze maatschappij aangetast.

Een uitdaging bij het inzetten van osmosetechnologie is het verwerken van de reststroom (geconcentreerde reststroom), waarbij verontreinigingen en/of probleemstoffen in verhoogde concentraties achterblijven ten opzichte van de voedingsstroom. Op dit moment zijn er nog geen adequate manieren om met deze reststroom om te gaan. De (industriële) reststromen worden (al dan niet na behandeling) veelal direct op het oppervlaktewater geloosd, (in)direct op zee geloosd, indirect via een rioolwaterzuivering (RWZI) geloosd of in de bodem geïnjecteerd. Al deze opties zijn echter niet duurzaam en toekomstbestendig. De verwachte toename van het gebruik van RO maakt dat het verwachte volume aan geconcentreerde reststromen zal toenemen. Dit maakt het maatschappelijk relevant om te verkennen welke mogelijkheden er zijn om deze geconcentreerde reststromen te verwerken. In dit onderzoek worden twee technieken verkend die kunnen worden ingezet voor het verwerken van geconcentreerde reststromen, namelijk *Zero Liquid Discharge* en *Superkritische Water Vergassing*. De inzet van deze technieken maakt

het mogelijk om de negatieve impact van deze stroom te minimaliseren en bruikbare nutriënten en/of grondstoffen terug te winnen en te benutten. Daar staat wel tegenover dat het bouwen van de installaties ook negatieve impact met zich meebrengt door toename van het energieverbruik en grondstoffen en dat dit ook consequenties heeft voor de circulaire economie [7].

1.2 Probleemstelling en onderzoeksvragen

Deze achtergrond en schets van de ontwikkelingen op het gebied van omgekeerde osmose (RO) hebben geleid tot de volgende probleemstelling die wordt onderzocht in onderzoek:

Reverse Osmose (RO) wordt gezien als een kansrijke technologie voor waterhergebruik initiatieven, bijvoorbeeld in de industrie. Deze techniek is op zichzelf niet circulair omdat er een geconcentreerde reststroom wordt gegenereerd. Kan RO wel deel uitmaken van circulaire oplossingen als deze gecombineerd wordt met technieken zoals Zero Liquid Discharge (ZLD) of Superkritische Water Vergassing (SKWV) die deze geconcentreerde reststroom verwerken? Met het oog op de maatschappelijke uitdaging van waterschaarste zou toepassing van RO kunnen bijdragen om voldoende water van passende kwaliteit te leveren.

In dit onderzoek wordt antwoord gegeven op de volgende vragen:

- In hoeverre is het toepassen van de technologie-combinaties RO & ZLD en RO & SKWV technisch haalbaar?
- Wat voor model kan gebruikt worden om de bijdragen van technologie-combinaties zoals RO & ZLD en RO & SKWV aan de circulaire watersector te bepalen?
- Hoe kunnen de bijdragen van technologie-combinaties RO & ZLD en RO & SKWV aan de circulaire watersector worden bepaald, gewogen en onderling worden vergeleken?
- Wat betekent het in de praktijk om deze technologie-combinaties als circulaire oplossingen toe te passen?
- In hoeverre zijn de technologie-combinaties meer of minder circulair dan andere oplossingen en in welke mate dragen ze daardoor bij aan de inrichting van (lokale) 'circulaire waterketens'?
- In welke mate dragen de technologie-combinaties bij aan de transitie naar en doelen van Circulair Water in 2050?

1.3 Onderzoeksaanpak en methoden

Om antwoord te geven op de onderzoeksvragen zijn verschillende methoden toegepast.

1.3.1 Aanpak onderzoek technische haalbaarheid

Voor het onderzoek naar de technische haalbaarheid zijn op labschaal proof-of-concept testen uitgevoerd.

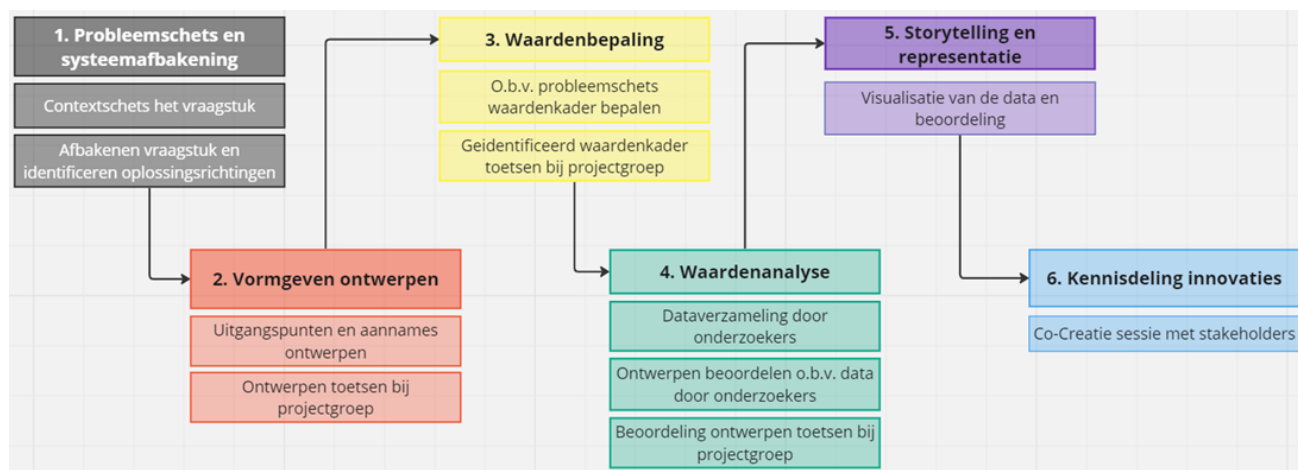
1.3.2 Aanpak onderzoek circulaire waardenanalyse

Om antwoord te geven op de vraag over het toepassen van de technologie-combinaties in de praktijk en de waarde van de toepassing voor circulaire waterketens, is voor elke technologie-combinatie een *casestudie* onderzoek uitgewerkt voor een specifieke toepassing van de technologie-combinatie. Door het uitwerken van deze casestudie is inzichtelijk gemaakt wat het zou betekenen om de technologie-combinatie in de praktijk in te zetten.

In samenspraak met de projectgroep is voor de combinatie van Reverse Osmose (RO) en Superkritische Water Vergassing (SKWV) gekozen om *de behandeling van effluent in de afvalwaterketen* als case te nemen (hoofdstuk 3). Voor de technologie-combinatie Reverse Osmose (RO) en Zero Liquid Discharge (ZLD) is gekozen om een case *het opwerken van brak grondwater in de glastuinbouw* te onderzoeken (hoofdstuk 4).

1.3.3 Stappen en onderzoeksmethoden in het onderzoek

Om antwoord te geven op de onderzoeksvraag zijn gedurende het onderzoek een aantal methodische stappen doorlopen waarbij onderzoekers en projectpartners zijn betrokken (zie afbeelding).



Afbeelding 1. Overzicht stappen in het onderzoekstraject

In deze paragraaf wordt nauwkeuriger beschreven op welke wijze de inzichten uit de analyse hebben geleid tot de circulaire beoordeling van de technologie-combinaties en het toekomstperspectief dat is uitgewerkt met stakeholders.

Stap 1. Probleemschets en systeemaftabekening: Identificatie maatschappelijke uitdaging en oplossingsrichtingen

Het is van belang om een contextschets te maken van het vraagstuk waarvoor technologie-combinaties en innovatie een oplossing aandragen. De concepten *probleemdirectionaliteit* en *oplossingsdirectionaliteit* uit het monitoringskader voor Missiegedreven Innovatie Systemen van Hekkert (2022) [8], [9] zijn benut om de complexiteit van de vraagstukken uiteen te zetten (zie paragraaf 2.1 voor meer informatie over dit analysekader).

Het erkennen van de samenhang tussen en perspectieven op de verschillende (duurzaamheids)uitdagingen is essentieel bij het bij het beoordelen van de circulariteit van innovatieve oplossingen, zoals onderzocht in dit onderzoek (*probleemdirectionaliteit*). De innovaties die zijn onderzocht dragen bij aan het oplossen van een deelprobleem, namelijk het verwerken van de geconcentreerde reststroom die ontstaat door het toepassen van de scheidingstechnologie reverse osmose. Echter het gebruik van de scheidingstechnologie Reversed Osmosis wordt gebruikt als oplossing voor het probleem van 'brak water' en ook verkend als een oplossing voor een meer omvangrijke maatschappelijke problematiek, namelijk verminderde waterkwaliteit door microverontreinigingen en industriële probleemstoffen en/of waterschaarste (zie contextschets Sectie 1.2). Daarnaast heeft het in gebruik nemen van de innovatieve technologieën ook invloed op andere maatschappelijke uitdagingen, zoals bodemdaling of klimaatverandering door hoog en fossiel energieverbruik. De innovatieve oplossing moet ook in deze probleemcontext worden beoordeeld.

Daarnaast dient ook benadrukt te worden dat het inzetten van reverse osmosetechnologie één 'oplossingsrichting' is om dit maatschappelijk complexe probleem van verontreinigd water en waterschaarste op te lossen (*oplossingsdirectionaliteit*). Andere oplossingen zijn bijvoorbeeld het verbieden van stoffen (bronaanpak), het gebruik van andere technologie, zoals actieve kool, het gebruik van biologische processen en/of regenwateropvang en (ondergrondse) buffering. De technologie-combinaties 'RO en superkritische water vergassing' en 'RO en zero liquid discharge' zijn twee innovaties die een potentiële oplossing aandragen voor het (deel)probleem van de geconcentreerde reststroom van de RO-technologie, maar er zijn ook andere technologie-combinaties of oplossingen denkbaar. Beide innovaties worden in dit onderzoek beoordeeld voor het oplossen van specifieke uitdagingen binnen een het *innovatiesysteem* waarin zij worden toegepast: de glastuinbouw en de afvalwaterketen. In de situatie van RO

en ZLD geldt dat een RO installatie al wordt toegepast (het is dus een uitbereiding op de bestaande praktijk), maar voor de combinatie RO en Superkritische water vergassing wordt een *nieuw innovatiesysteem* gecreëerd omdat de afvalwaterketen en de afvalketen bij elkaar worden gebracht. In paragraaf 3.1 en 4.1 is voor beide technologie-combinaties beschreven:

- 1) welke toepassing van de technologie-combinatie in dit onderzoek is beoordeeld
- 2) welk maatschappelijk probleem deze toepassing beoogt op te lossen
- 3) in welke case het toepassen van de technologie-combinatie is onderzocht

Stap 2. Het vormgeven van ontwerpalternatieven voor het toepassen van technologie-combinaties in de case

Middels deze stap zijn verschillende ontwerpalternatieven vormgegeven voor beide innovaties. De ontwerpalternatieven beschrijven de wijze waarop de twee technologie-combinaties worden toegepast in de praktijk. Dit betekent een uitwerking van

- 1) Osmosetechnologie gecombineerd met zero-liquid discharge (3 ontwerpalternatieven)
- 2) Osmosetechnologie gecombineerd met superkritische water vergassing (3 ontwerpalternatieven)

Voor alle ontwerpalternatieven zijn stroomschema's uitgetekend en verschillende uitgangspunten en aannames ten aanzien van deze ontwerpen uitgewerkt (zie paragraaf 3.2 en 4.3). Deze ontwerpen zijn getoetst bij en afgestemd met de reflectiegroep. Deze reflectiegroep bestaat uit drie waterbedrijven (Waternet, PWN en Dunea), drie waterschappen (Aquafin, Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard en Waterschap Rivierenland), Glastuinbouw Nederland, en uit de afvalverwerking sector SCW Systems en HVC.

Vervolgens zijn voor deze toepassingen praktijkcases gezocht. In overleg met de reflectiegroep is gekozen om de maatschappelijke waardenanalyse uit te voeren voor de tuinderij Holstein Flowers (zero-liquid discharge) en de gemeente Alkmaar (superkritische water vergassing).

Stap 3. Waardenbepaling: bepalen waardenmodel voor de analyse

Op basis van de contextschets en maatschappelijke doelen ten aanzien van Circulair Water 2050 is het Donut Model voor de Circulaire Waterketen (zie 2.2) aangereikt als kader voor het analyseren en beoordelen van de innovaties. Dit model is gepresenteerd aan de reflectiegroep en in overeenstemming is besloten om dit model te benutten voor het analyseren van de ontwerpalternatieven, waaronder de innovaties, als toepassing in de praktijkcases.

Stap 4. Circulaire Waardeanalyse: Dataverzameling, analyse en beoordeling ontwerpalternatieven

Tijdens deze stap is door de onderzoekers data en informatie verzameld over de ontwerpalternatieven en de praktijkcases. Middels een locatie bezoek, interviews en een bureaustudie is verkend wat het zou betekenen om de technologie-combinaties in de praktijkcases Alkmaar (hoofdstuk 3) en tuinderij Holstein Flowers (hoofdstuk 4) toe te passen. De 16 kenmerken uit het Donut Model voor de Circulaire Waterketen zijn daarbij leidend geweest voor de informatieverzameling.

Voor alle 16 kenmerken uit het Donut Model is informatie verzameld over de ontwerpalternatieven. Op basis van deze informatie is vervolgens door KWR-experts beoordeeld in hoeverre de ontwerpalternatieven (2) scoren in vergelijking met de bestaande situatie (1). Deze beoordeling is getoetst bij de reflectiegroep.

Stap 5. Storytelling en representatie

Op basis van de Circulaire en beoordeling is vervolgens beschreven in hoeverre de bestaande situatie of ontwerpalternatieven bijdragen aan de lokale (zero liquid discharge) of regionale (superkritische water vergassing) circulaire waterketen.

De inzichten uit de analyse en de beoordeling zijn ook verwerkt in een visualisatie (zie Figuur 7 in Sectie 3.5 en Figuur 13 in Sectie 4.5). De visualisatie maakt het mogelijk om op een eenvoudige wijze de complexiteit van het vraagstuk te duiden en met verschillende stakeholders in gesprek te gaan over de *oplossingsrichtingen* waar het toepassen van de technologie-combinaties 'Zero liquid discharge' en 'superkritische water vergassing' deel van uitmaken.

Stap 6. Het bepalen van de kansen voor de technologie-combinaties, deels in een co-creatie sessie

De analyses in stap 1 tot en met 5 zijn gebruikt om te reflecteren op de MIS, dit is gedaan door de gedane analyses te spiegelen aan de factoren van het MIS. In deze reflectie zijn de in de donut model bepaalde waarden in de context van het MIS geplaatst en besproken. Dit beeld is aangevuld met een co-creatie sessie voor de casestudie Hoge-recovery RO en Zero Liquid Discharge, dit is een participatief proces ingericht om de kansen voor de technologie-combinaties met verschillende stakeholders te bespreken en ook toe te werken naar een praktisch en juridisch toekomstperspectief.

De reflectie op het monitoringskader voor Missie Gedreven Innovatiesystemen is verder benut voor het inrichten van een tweede co-creatie sessie van de casestudie Hoge-recovery RO en Zero Liquid Discharge. Op het moment van schrijven heeft de tweede co-creatie sessie van de casestudie Hoge-recovery RO en Zero Liquid Discharge nog niet plaatsgevonden, deze zal op een later moment als bijlage worden toegevoegd aan dit rapport.

2 Analyse kader Circulaire Waardetoekenning

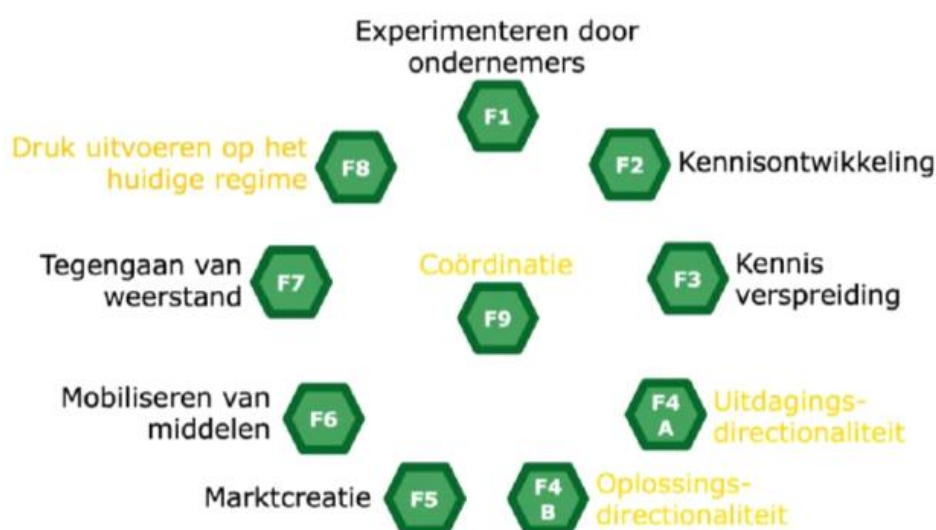
Voor deze analyse is voortgebouwd op twee analysekaders, namelijk een kader voor de monitoring van Missie-gedreven innovatiesystemen (MIS) van de Circulaire Economie [8] en het Donut Model voor de Circulaire Economie [2]. Deze analysekaders zijn in dit hoofdstuk uitgewerkt.

2.1 Monitoringskader missie-gedreven innovatie systemen

Het kader voor het monitoren van het missie-gedreven innovatie systeem is benut om de maatschappelijke context van de technologische toepassing te duiden en ook een fundament te leggen voor het uitwerken van een toekomstperspectief in de co-creatie sessie (voor de resultaten zie paragraaf 4.7. en 3.6). Een technologische innovatie komt niet tot volwassenheid in een vacuüm, maar ontwikkelt binnen een netwerk van actoren, waarbij de institutionele structuur bepaalt wat actoren willen, kunnen en mogen (Elzinga et. al., 2020) [1]. Om uitspraken te doen over de ‘kansen voor geconcentreerde reststromen’ en de twee technologische toepassingen die zijn onderzocht om deze stromen te verwerken, is het van belang om de maatschappelijke context van de toepassing in beeld te brengen. Een belangrijke vraag daarbij is in hoeverre de *technologische innovaties onderdeel kunnen zijn van circulaire oplossingen voor maatschappelijke uitdagingen en daarmee bijdragen aan de missie van een circulair Nederland in 2050* [10]. Met behulp van het monitoringskader voor Missie-gedreven Innovatie Systemen van Hekkert (2020) [1] zijn concepten, zoals *uitdagingsdirectionaliteit* en *oplossingsdirectionaliteit* (paragraaf 1.3.1, 1.3.2, en 1.3.3) benut om de problematiek en de oplossingen te duiden.

2.1.1 Achtergrond en ontwikkeling monitoringskader Missie-gedreven innovatiesystemen

Het monitoringskader voor Missie-gedreven Innovatie Systemen (MIS) van de Circulaire Economie (zie afbeelding Afbeelding 2) is ontwikkeld door Hekkert (2020) [8] en bouwt voort op ideeën over Technologische Innovatie Systemen (TIS). Met behulp van het raamwerk voor Technologische Innovatiesystemen [11], [12] kan bestudeerd worden of er sprake is van een goed werkend innovatiesysteem. Het TIS raamwerk reikt *sleutelfactoren* (ofwel *functies*), aan waarmee innovatiesystemen beoordeeld en gemonitord kunnen worden (zie de sleutelfactoren in zwart in Afbeelding 2).



Afbeelding 2. Monitoringskader Missiegedreven innovatiesysteem. De originele functies van het Technologische Innovatiesysteem Raamwerk zijn zwart gekleurd, maar uitgebreid met de functies die nodig zijn voor het analyseren van de voortgang in maatschappelijke transitie.

Het raamwerk voor Missie-gedreven Innovatiesystemen, dat voortbouwt op TIS, reikt daarbij nóg vier sleutelfactoren aan die relevant zijn voor het analyseren van innovaties in een maatschappelijke context of innovatiesysteem. Het verschil is dat in dit raamwerk de ontwikkeling van de technologische innovatie *géén doel op zich is*, maar dat het innovatiesysteem gericht zou moeten zijn op het *oplossen van een maatschappelijke uitdaging*; in dit geval het bijdragen aan Circulair 2050. In essentie wordt er met het MIS-raamwerk erkend dat er meerdere innovatietrajecten van belang zijn om een missie te behalen en dat er verschillende ontwikkelpaden verkend moeten worden, waarvan niet alleen *hoogtechnologische* innovaties onderdeel zijn, maar ook *sociale innovaties* of *nieuwe businessmodellen*. In dit (aangepaste) monitoringsraamwerk zijn vier sleutelfactoren toegevoegd. De eerste is coördinatie. **Coördinatie** is belangrijk om in de gaten te houden voor welke verschillende ontwikkeltrajecten die tegelijkertijd worden uitgevoerd, sprake is van onderlinge concurrentie zijn of juist mogelijkheden zijn ‘symbiose’.

In relatie tot ‘richting geven aan het zoekproces’ wordt gesproken over **uitdagings-directionaliteit** en **oplossings-directionaliteit** dat in het kort neerkomt op het erkennen van de verschillende perspectieven op, zowel de uitdaging (wicked problems), als ook de oplossing (wat is de ‘goede’ weg vooruit). Het is essentieel om overeenstemming of consensus te vinden over het probleem waar een oplossing voor moet worden gevonden of is bedacht. Daarnaast zijn er ook beperkte middelen beschikbaar – intellectueel, geproduceerd, menselijk, financieel, sociaal en natuurlijk kapitaal – om in te zetten voor een transitie naar een Circulair Nederland in 2050. Dat betekent dat het belangrijk is om collectief richting te geven aan oplossingen, omdat innovaties anders niet kunnen worden opgeschaald of bijdragen aan maatschappelijke *systeeminnovatie* en verandering van het ‘regime’. Onder ‘het regime’ wordt verstaan het dominante socio-technologische systeem, dat bestaat uit ‘een constellatie van gewoonten en gebruiken, wet- en regelgeving, actoren en infrastructuur die elkaar versterken en in stand houden’ [1].

In missie-gedreven innovatiesystemen wordt dus ingezet op ‘het doorbreken van de huidige status-quo’ en een sleutelfactor is het uitvoeren van **druk op het huidige ‘regime’**. Lock-ins, waarbij actoren vast blijven zitten in bestaande constellaties, moeten worden geïdentificeerd en doorbroken door er actief van weg te sturen. Dit betekent in de praktijk niet alleen belemmerende wet- en regelgeving inzichtelijk te maken of weerstand identificeren, maar ook het ondersteunen van initiatieven en actoren die de lock-in in stand houden wegnemen.

In de onderstaande opsomming zijn de tien sleutelfactoren van het MIS-raamwerk uitgewerkt (o.b.v. [1], aangepast door auteurs). Niet alle sleutelfactoren zijn relevant om te bestuderen in dit onderzoek, maar vijf sleutelfactoren (dikgedrukt) zijn benut om te bepalen in hoeverre de technologische innovaties, als onderdeel van een circulaire oplossing, kansrijk zijn in twee verschillende – en potentieel nieuw innovatiesystemen – de *afval(water)keten* (hoofdstuk 3) en in de *glastuinbouw* (hoofdstuk 4).

1. Experimenteren door ondernemers; ondernemers spelen een rol door nieuwe technologie te verkennen, variaties te creëren in het ontwerp, het investeren van eigen middelen in de ontwikkeling, en uiteindelijk ook in de opschaling;
2. Kennisontwikkeling; er moet kennis ontwikkeld worden over de nieuwe technologie, producten, regels en de markt om te innoveren;
3. Kennis verspreiding; kennis moet uitgewisseld worden tussen partijen om de innovatie te versnellen
4. **Richting geven aan het zoekproces**; innovaties zijn per definitie onzeker, maar door verheldering te scheppen over het potentieel van een innovatie kan richting worden gegeven en actoren worden betrokken;
 - a) **Uitdagings-directionaliteit**: *verschillende problemen zijn geïdentificeerd en verkend om tot overeenstemming te komen over de uitdaging waarvoor een oplossing moet worden gevonden.*
 - b) **Oplossings-directionaliteit**: het is belangrijk om te duiden binnen welke oplossingsrichting een technologische innovatie een circulaire oplossing biedt. *Dat is in dit geval een hoogtechnologisch pad.*
5. **Marktcreatie**; identificeren van de institutionele kaders zijn nog niet afgestemd op de nieuwe innovaties, waardoor circulaire oplossingen in een vroeg stadium nog weinig interessant zijn voor gebruikers en

actoren. Het herontwerpen van deze institutionele kaders is nodig om de innovatie of circulaire oplossing aantrekkelijk en interessant te maken voor gebruikers.

6. **Mobiliseren van middelen;** Om te innoveren zijn middelen nodig. Dit gaat om financiële middelen, maar ook menselijk kapitaal en dus capaciteit en goed opgeleide werknemers;
7. **Tegengaan van weerstand;** innovatie brengt vaak weerstand met zich mee. Er is sprake van gewinning aan de huidige situatie, wet- en regelgeving is hier vaak nog op afgestemd, er is nog weinig belangstelling voor 'inferieure' en nieuwe technologie en er zijn vaak nog commerciële belangen verbonden aan het in stand houden van de bestaande technologie. *Dit is verkend en besproken in de co-creatie sessie;*
8. **Druk zetten op het regime.** Het actief wegsturen van het bestaande regime door o.a. regelgeving af te bouwen, afspraken maken met industrieën om van koers te veranderen, activisme tegen huidige praktijken, het benoemen van 'verkeerd' consumenten gedrag. Op basis van de inzichten over de 'weerstand' en praktische belemmeringen, kunnen stappen worden gezet;
9. **Coördinatie:** *Als onderdeel van de analyse is verkend welke andere oplossingsrichtingen en circulaire oplossingen strategisch zijn verkend om uitspraken te doen over de kansen voor de circulaire oplossingen waarvan de innovaties onderzocht in dit onderzoek deel van uitmaken. Dit is onderdeel geweest van de co-creatie sessie.*

2.2 Donut Model voor de Circulaire Waterketen

Om te beoordelen in hoeverre het toepassen van de technologie-combinaties bijdraagt aan het realiseren van de lokale circulaire waterketen is het Donut Model voor de Circulaire Waterketen benut als analysekader. Zoals ook de doelen voor Circulair Water 2050 [13] impliceren, kan gezegd worden dat een technologische innovatie kansrijk is als het bijdraagt aan meerdere doelen. Bijvoorbeeld door niet alleen vervuild water te zuiveren, maar door ook minimale impact op de lokale omgeving teweeg te brengen en/of zo weinig mogelijk gebruik te maken van (kritische) grondstoffen en energie. Op basis van het Donut Model voor de Circulaire Waterketen is verkend in hoeverre en op welke wijze het toepassen van de technologie-combinaties bijdraagt aan de lokale waterketen en daarmee (indirect) aan de doelen van Circulair Water 2050.

2.2.1 Achtergrond en ontwikkeling Donut Model voor de Circulaire Waterketen

Het Donut Model voor de Circulaire Waterketen is een model dat door KWR onderzoekers is ontwikkeld om te beoordelen in hoeverre maatregelen of ontwerpalternatieven bijdragen aan de Circulariteit van een Waterketen. Als onderdeel van dat onderzoek is eerst geoperationaliseerd wat 'circulariteit' in de waterketen betekent [14]. Middels deze operationalisering zijn 16 kenmerken geïdentificeerd waarmee de circulariteit van een waterketen kan worden bepaald (zie paragraaf 2.2.2). Daarnaast reikt het model ook een scorecard¹ aan die onderzoekers, ontwerpers, beleidsmakers en besluitvormers ondersteunt bij het *omschrijven, bespreken, afbakenen* en *vastleggen* van de bijdrage die maatregelen en ontwerpen leveren aan een circulaire waterketen. Dit model is – in tegenstelling tot andere tools, zoals bijvoorbeeld een LCA – niet gericht op het gedetailleerd uitwerken van kwantificeerbare kenmerken, maar kan gebruikt worden als hulpmiddel om een inschatting te maken van de potentie van innovatieve oplossingen, maatregelen of ontwerpalternatieven voor de transitie naar een circulaire waterketen.

Het is belangrijk om te noemen dat in de Circulaire Waterketen de nadruk ligt op 'waardebehoud' ten aanzien van alle 16 kenmerken. Daarbij gaat het niet alleen om het behoud van materiele waarde, maar ook van sociale en ecologische waarden. De 'kwaliteit van leven' en de 'maatschappelijke welvaart voor toekomstige generaties' worden volgens de gekozen definitie van de Sociaal Economische Raad (SER) als einddoelen gezien voor de circulaire economie. Zaken als het behoud van natuurlijk kapitaal en de gezondheid van de mens worden geïdentificeerd als belangrijke relevante waarden om in ogenschouw te nemen. Het Donut Model voor de Circulaire Waterketen maakt het mogelijk om een brede waarde-inventarisatie uit te werken en een inschatting te maken van de bijdrage van innovatie aan verschillende doelen van Circulair Water 2050. Materiele circulariteit is namelijk geen doel op zich, maar moet gezien worden als middel om zo veel mogelijk waarde in de waterketen te behouden.

¹ Segrave et. Al. (2020) Operationalisering Circulaire Economie principe voor de waterketen. BTO 402324-001

Het model bouwt voort op verschillende concepten aangaande de circulaire economie (zoals het 10Rmodel [15] of cascadering) en is visueel geïnspireerd door het economische model van de Donut Economie van Kate Raworth [16]. Het model is aangepast op basis van inzichten over circulariteit en de karakteristieken van de watercyclus. Het economische model van Kate Raworth is er simpel gezegd op gericht om de behoeften van iedereen te realiseren binnen de draagkracht (carrying capacity) van de aarde (planetary boundaries). Het kent drie lagen (zie Afbeelding 3), namelijk; 1) het ecologische plafond dat de planetaire grenzen vertegenwoordigt, 2) het sociaal fundament dat de behoeften van de mens vertegenwoordigt en daartussenin 3) de veilige en rechtvaardige ruimte waarbinnen de (economische) activiteiten zouden moeten plaatsvinden.

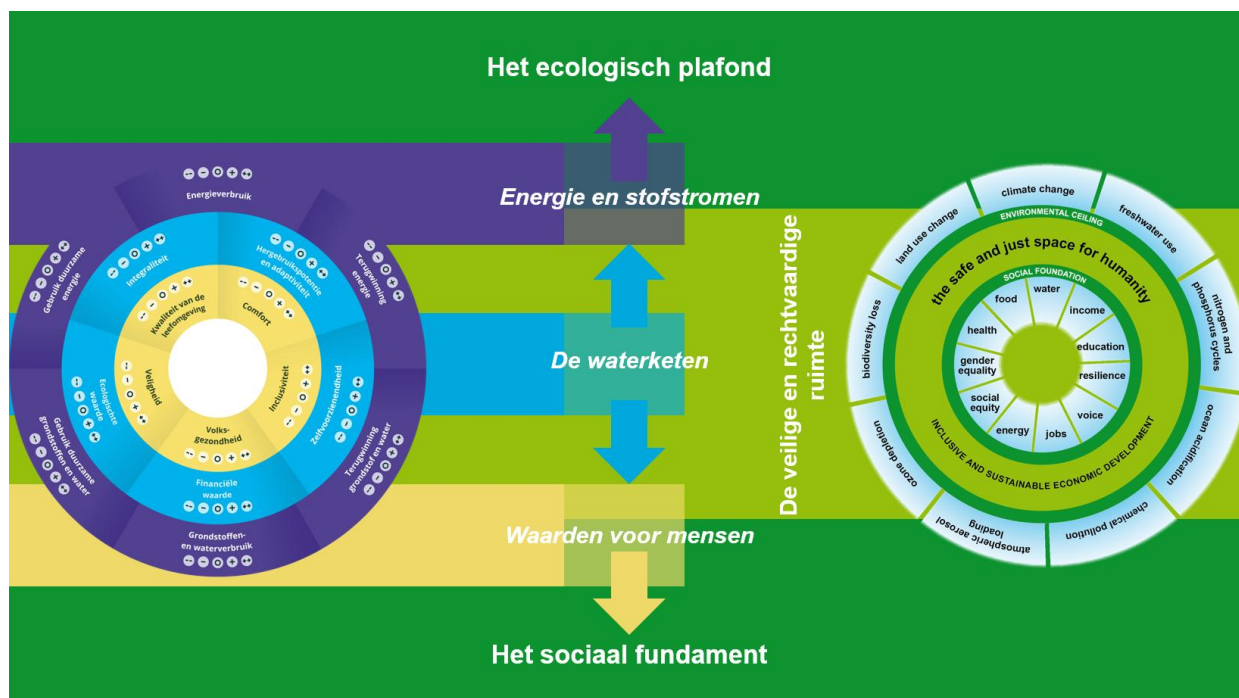


Afbeelding 3. De lagen in het Donut Model voor de circulaire waterketen geïnspireerd door het Donut Model van Kate Raworth.

2.2.2 Kenmerken van het Donut Model voor de Circulaire Waterketen

In het Donut Model voor de Circulaire Waterketen is het drie-lagen principe van de Donuteconomie overgenomen (zie Afbeelding 4), maar zijn de lagen en kenmerken gespecificeerd voor een circulaire waterketen. Op deze manier functioneert het Donut Model voor de Circulaire Waterketen als vertaalsleutel om de bijdragen van de waterketen aan het ecologisch plafond en aan het sociaal fundament in kaart te brengen.

In het Donut Model voor de Circulaire Waterketen zijn 16 kenmerken opgenomen die de drie lagen vertegenwoordigen (zie Afbeelding 4). In de laag 'Energie en stofstromen' (paars) zijn 6 fysieke kenmerken opgenomen. Met behulp van deze kenmerken kan worden bepaald in hoeverre maatregelen of ontwerpalternatieven druk uitoefenen op het ecologische plafond. Daarbij gaat het om het gebruik van energie, water en grondstoffen – en dus stofstromen.



Afbeelding 4. Verhouding tussen het Donut Model voor de Circulaire Waterketen en het Donut Model voor de Circulaire Economie

Vervolgens zijn er vijf kenmerken waarmee de ‘systeemeigenschappen’ (blauw) van de waterketen in kaart gebracht kunnen worden. Daarbij gaat het om de eigenschappen van een ontwerp of systeem als onderdeel van de waterketen. Kenmerken waarmee de systeemeigenschappen beoordeeld kunnen worden zijn zelfvoorzienendheid, hergebruikspotentie en adaptiviteit, financiële waarde, integraliteit en ecologische waarde. De vijf sociaal-politieke kenmerken die onderdeel zijn van de laag ‘waarden voor mensen’ (geel) ondersteunen bij het bepalen van de mate waarin maatregelen of ontwerpalternatieven bijdragen aan het sociaal fundament. Daarbij gaat het om de kenmerken volksgezondheid, veiligheid, inclusiviteit, comfort en kwaliteit van de leefomgeving.

In Afbeelding 5 is een overzicht van alle kenmerken uit het Donut Model voor de Circulaire Waterketen te vinden en in Bijlage I is een overzicht te vinden met een uitgebreide beschrijving van de kenmerken en wijze van beoordeling.

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

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

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

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

Systeemeigenschappen: kenmerken van de waterketen op systeemniveau

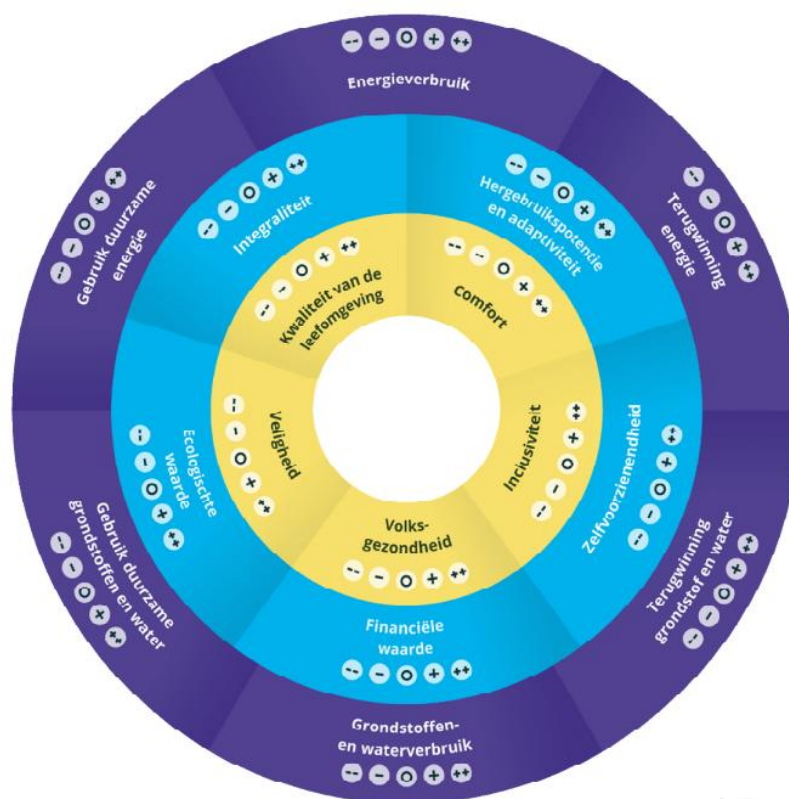
12. Zelfvoorzienendheid
13. Hergebruikspotentie en Adaptiviteit
14. Financiële waarde
15. Integraliteit
16. Ecologische waarde

Afbeelding 5. Overzicht van kenmerken van het Donut Model voor de Circulaire Economie

Bij het ontwikkelen van het Donut Model voor de Circulaire Waterketen is besloten alle kernmerken in positieve zin te formuleren. Dat wil zeggen dat waar het mogelijk is om naar de hoeveelheid afvalproductie te kijken, wordt in dit model naar het behoud van energie en grondstoffen bekeken: Hoe meer energie en grondstoffen gerecycleerd worden, hoe meer ze in het systeem worden behouden. Dit is een ontwerpkeuze die bedoeld is om meer ruimte te scheppen voor oplossingen die een netto positieve impact hebben in plaats van oplossingen die geoptimaliseerd zijn rondom het beperken van negatieve impacts.

2.2.3 Scorecard voor beoordeling

Met de scorecard uit het Donut Model voor de Circulaire Economie (Afbeelding 6) kan worden ingeschat (-- / - / 0 / + / ++) in hoeverre een ontwerpalternatief bijdraagt aan de circulariteit van de waterketen.



Afbeelding 6. Scorecard Donut Model voor de Circulaire Economie

Voor elk kenmerk wordt een bepaald of een ontwerpalternatief beter of slechter scoort dan de bestaande situatie (nul-situatie) en of de circulariteit van de waterketen daardoor gelijk blijft, af- of toeneemt (Tabel 3). De nul-situatie is een situatie waarbij er geen maatregelen worden genomen of ontwikkeling wordt uitgevoerd. De beoordeling wordt uitgevoerd door onafhankelijk experts én in dialoog met de projectgroep op basis van kwantitatieve en kwalitatieve data. De scorecard is generiek en reikt geen ordening van waarden aan.

Tabel 3. Bijdrage aan circulariteit van de waterketen in kleine, grote of toename of afname

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

3 Circulaire analyse verwerking organische reststromen doormiddel van superkritische watervergassing

3.1 Toepassing RO en superkritische water vergassing: opwerken van RWZI effluent en verwerken organische reststromen

Binnen het innovatiesysteem circulaire waterketen is de toepassing van omgekeerde osmosetechnologie op afvalwaterstromen/RWZI effluent met superkritische water vergassing van een geconcentreerde reststroom gekozen als oplossingsdirectionaliteit. Binnen dit concept worden twee afvalketens aan elkaar gekoppeld, de zogeheten probleemdirectionaliteit, dit zijn de geconcentreerde reststroom vanuit de afvalwater keten en de organische stroom vanuit de afvalverwerkingssector. Het concept verwerkt op een circulaire wijze de geconcentreerde reststroom van de omgekeerde osmose door het superkritisch te vergassen én de stroom van organisch materiaal mee te nemen als duurzame verwerkingsmethode en aanvullende grondstof voor het superkritische water vergassing. Doormiddel van een circulaire maatschappelijke waardenanalyse zal de potentiële impact van de innovatie op de circulaire economie en de maatschappij worden geanalyseerd. De uitvoering van deze verknoping van ketens zal, mede door de organisatorische aspecten, uitdagingen met zich meebrengen. Bestaande stromen moeten namelijk op andere wijze worden ingezameld en verwerkt, maar deze wijze van verwerking kan ook een kans zijn om druk op ecologische plafonds te verlagen.

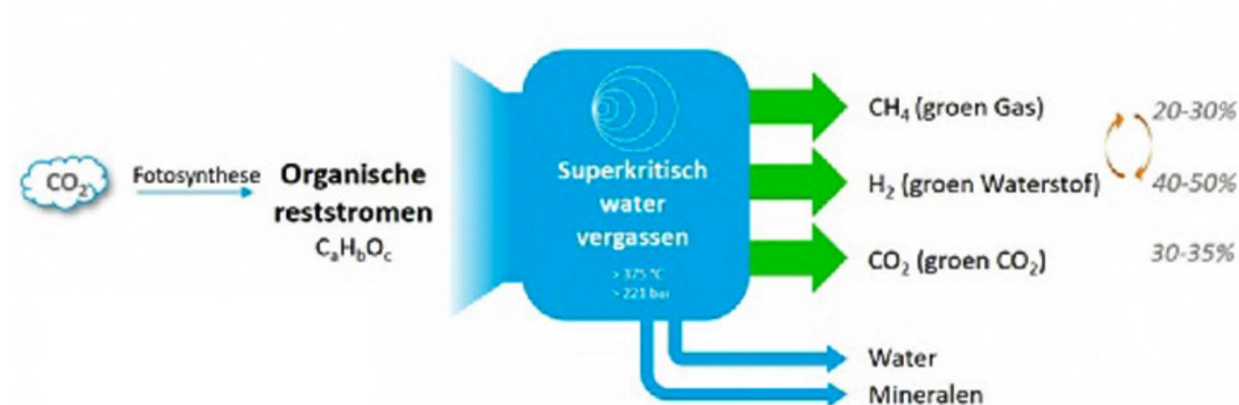
Omgekeerde Osmose wordt momenteel nog niet als scheidingstechniek toegepast in de afvalwaterketen in Nederland, maar door de herziening van de richtlijn Stedelijk Afvalwater zal RO vaker bij RWZI's worden ingezet voor het verwijderen van medicijnresten en andere organische micro's [17]. In het geval RO wordt toegepast, zal er een geconcentreerde reststroom ontstaan waar een verhoogde concentratie aan gescheiden stoffen in terecht zal komen ten opzichte van de voedingsstroom. Waterschappen staan voor de uitdaging om deze geconcentreerde reststroom te verwerken en het superkritisch vergassen van deze stroom is een mogelijkheid om energie terug te winnen in de vorm van synthetisch gas. Het effluent kan daarnaast worden hergebruikt voor andere doeleinden. Keerzijde van de komst van deze vierde zuiveringsstap is dat de vervuiler ontzien wordt van haar verantwoordelijkheid of zorgplicht om schadelijke stoffen te voorkomen of beperken.

Tegelijkertijd wordt 'Superkritisch water vergassen' gezien als een kansrijke innovatie waarmee natte reststromen kunnen worden omgezet in groen gas en waterstof [13], [18]. De technologie is nog niet in staat om grote volumes water met een relatief laag organisch gehalte te kosten-effectief te verwerken, maar er is wel veel potentie om verschillende soorten natte en ook droge stromen te verwerken. Naast slib en geconcentreerde reststromen, kan ook ander organisch materiaal, zoals GFT, plastic en/of (pyrolyse olie van) hout worden vergast (zie Figuur 1). Dit maakt superkritische water vergassing een interessante techniek voor het verwerken van afvalstromen uit verschillende sectoren, zoals de industrie maar ook de afval(verwerking)sector. Het is daarbij essentieel om te duiden dat het inzetten van deze techniek ook vraagt om het herinrichten van industriële systemen, waarbij met name de logistiek van stromen een andere vorm gaat krijgen. De vraag is ook voor welke stromen en bij welke hoeveelheden het interessant wordt om stromen middels superkritische water vergassing te verwerken.

In dit onderzoek zal niet worden onderzocht hoe een optimaal innovatiesysteem voor superkritische water vergassing er uit kan zien, maar wordt verkend welke ontwerpalternatieven het meest circulair zijn vanuit het perspectief van de (afval)waterketen. De vraag die beantwoord wordt in dit hoofdstuk is:

In hoeverre draagt het toepassen van de technologie-combinatie RO en superkritische water vergassing bij aan het inrichten van een lokale circulaire afval- en waterketen in Alkmaar?

Superkritisch Water Vergassen



Figuur 1: overzicht van het superkritisch vergassingsproces

Door deze studie wordt inzichtelijk wat het in de praktijk zou betekenen om verschillende stromen uit de afvalwaterketen te verwerken middels superkritische water vergassing en welke waarden er met de ontwerpalternatieven worden toegevoegd aan een (lokale) circulaire waterketen. Gekozen is om ontwerpalternatieven vorm te geven en een analyse uit te voeren voor de case Alkmaar. Voornamelijk omdat de installatie van SCW systems gelokaliseerd is in deze regio.

3.2 Case Studie: Toepassing RO en superkritische water vergassing in regionale afval(water)keten van Alkmaar

Om te bepalen wat de toepassing van RO en superkritische water vergassing zou kunnen betekenen voor de circulaire afval(water)keten van Alkmaar, is een analyse uitgewerkt op basis van de bestaande situatie van RWZI Alkmaar van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Hoewel er grote verschillen (kunnen) zijn in de capaciteit en effluent waterkwaliteit van verschillende RWZI's, is het uitvoeren van de analyse voor deze case nuttig, omdat het ook inzichten oplevert die bruikbaar zijn voor andere RWZI's. Bij twee van de ontwerpalternatieven is aangenomen dat het effluent van de RWZI wordt opgewerkt tot industriewater/tuinbouw water met ultrafiltratie (UF) gevolgd door omgekeerde osmose (RO). Dit type nabehandeling is operationeel bij Aquafin/IWVA, locatie Koksijde en deze zal daarom als voorbeeld gebruikt worden in de UF/RO ontwerpen [19]. In één ontwerp worden de innovatieve technieken snelle pyrolyse en superkritisch vergassen belicht. De potentie van snelle pyrolyse is door o.a. STOWA in kaart gebracht. Superkritische water vergassing wordt op full-scale reeds toegepast door het bedrijf SCW Systems dat gevestigd is in Alkmaar [20].

In deze paragraaf is uitgewerkt hoe tot een systeemaafbakening is gekomen en welke uitgangspunten leidend zijn geweest voor de analyse. In de volgende paragraaf zijn op basis van deze uitgangspunten drie ontwerpalternatieven uitgewerkt voor het gebruik van RO en superkritisch vergassen voor het opwerken van RWZI effluent en verwerken van organische reststromen.

RWZI Alkmaar

Voor deze toepassing wordt de afval(water)keten van Alkmaar onderzocht. Om tot een gedegen circulaire afweging te komen voor deze innovatieve toepassing wordt voor een bestaande situatie in Alkmaar geanalyseerd wat het zou betekenen om een installatie voor de superkritisch vergassing van de middels RO geconcentreerde reststroom- en C-houtstroom neer te zetten. Deze oefening zal geen sluitend antwoord geven op de vraag in hoeverre het opwaarderen van de reststromen van RO maatschappelijke waarde heeft, maar wel inzichten geven voor de discussie hierover.

Op basis van gegevens en informatie over bestaande stromen en het bestaande industriële netwerk in Alkmaar (gemeente met 110.783 inwoners in 2022), kan bepaald worden in hoeverre het maatschappelijke (meer)waarde zou opleveren om de nieuwe verwerking van reststromen op gang te brengen in de regio.

Op RWZI Alkmaar wordt organische belaste huishoudelijk, stedelijk en industrieel afvalwater, dat via de openbare riolering wordt geloosd, verwerkt in een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI). De primaire, secundaire en tertiaire zuivering verwijdert deeltjes, organische stoffen (BZV en CZV) en nutriënten (P en N) en een deel van de organische microverontreinigingen die in rioolwater aanwezig zijn. Het effluent wordt geloosd op oppervlaktewater, het Noord-Hollands kanaal (pers. comm. Steven Westermann van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK), 4-3-2024). Dit kanaal is onderdeel van de Schermerboezem, een boezemstelsel dat loopt van Zaandam in het zuiden tot Den Helder in het noorden en tot Monnickendam en Scharwoude aan de oostkant. Circa 10 andere RWZI's van HHNK lozen op dat boezemstelsel, dat afwatert op Rijkswater. Mogelijke natuureffecten van lozingen zullen variëren over het jaar omdat dit boezemstelsel het neerslagoverschot van een groot deel van Noord-Holland afvoert, dus vooral in



Figuur 2. Kaart van gemeente Alkmaar

de winter verdunt een effluentstroom enorm. De afvoerstromingsrichting is daarbij nog afhankelijk van de windrichting, getij en stroomprijs en kan zowel naar noorden, oosten als zuiden zijn. De Schermerboezem loopt langs diverse N2000 gebieden en water daaruit wordt bij neerslagoverschot niet alleen naar de boezem uitgemalen maar bij neerslagtekort ook vanuit deze boezem ingelaten in die N2000 gebieden, dus kan er een effect zijn op N2000 doelen. Het inlaatwater is dan echter weer afkomstig uit het Markermeer, dus van andere kwaliteit. Tegelijk zijn er dus nog zo'n 10 RWZI's die ook op dit systeem lozen hetgeen de relatieve impact van de 11^{de} lozing in perspectief zet.

C-kwaliteit hout wordt huidig ingezameld en geëxporteerd naar het buitenland (o.a. Duitsland).

Algemene uitgangspunten case RWZI Alkmaar

- Locatie casestudy: RWZI Alkmaar, Jan van Scorelkade 6, 1817 ET Alkmaar
- Hydraulische capaciteit regenwaterafvoer (RWA) 2000 m³/h
- Het opwerken van het RWZI effluent geschiedt met een ultrafiltratie (UF) gevolgd door omgekeerde osmose (RO)
- C-kwaliteit hout wordt na inzameling geëxporteerd buiten onze landsgrenzen.
- Bij pyrolyse van C-kwaliteit hout wordt ongeveer 60 – 75% van de biomassa omgezet in bio olie. 25%-40% van de biomassa wordt omgezet in biochar (kool).
- De pyrolyse installatie en de superkritische water vergassingsinstallatie zal op het terrein van de RWZI gebouwd worden om de transportafstand van de geconcentreerde reststroom zo kort mogelijk te houden.

3.3 Ontwerpalternatieven voor het gebruik van superkritische water vergassing voor het verwerken van organische reststromen

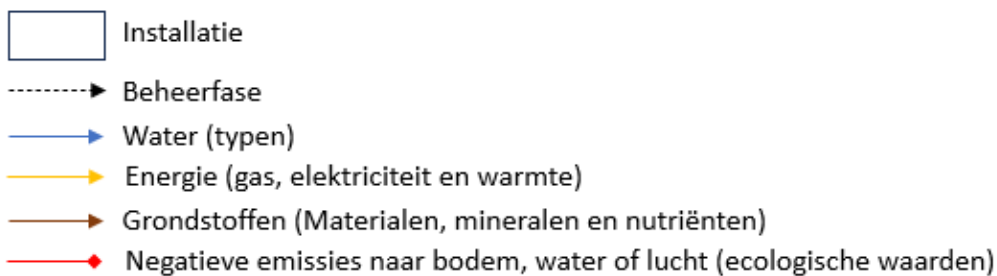
In deze studie zijn drie ontwerpalternatieven vormgegeven voor het gebruik van RO voor opwerken van RWZI effluent en verwerken van organische reststromen met superkritisch vergassen. Er is een ontwerpalternatief vormgegeven:

- 1) voor de *bestaande situatie*, waarbij het RWZI effluent wordt geloosd op het oppervlaktewater en het C-hout geëxporteerd wordt naar het buitenland (Paragraaf 3.3.1)
- 2) voor een *alternatief ontwerp*, waarbij het RWZI effluent met UF en RO wordt nabehandeld en het hoogkwalitatieve zoetwater nuttig ingezet kan worden in industrie en tuinbouw. De vrijkomende middels RO geconcentreerde reststroom wordt geloosd op oppervlaktewater. Het C-hout wordt geëxporteerd naar het buitenland (Paragraaf 3.3.2)
- 3) voor een *innovatief ontwerp*, waarbij het RWZI effluent met UF en RO wordt nabehandeld en het hoogkwalitatieve zoetwater nuttig ingezet kan worden in industrie en tuinbouw. Circa 15% van het totale volume vrijkomende middels RO geconcentreerde reststroom wordt gezamenlijk met pyrolyseolie van C-hout verwerkt in een superkritische vergasser (Paragraaf 3.3.3)

Voor alle drie de ontwerpalternatieven is in de onderstaande paragrafen

- een stroomschema uitgetekend met daarin de installaties en stofstromen die onderdeel zijn van het technische ontwerp. In het stroomschema is ook opgenomen welke negatieve emissies het ontwerp/systeem met zich meebrengt. Het gaat om stofstromen en emissies die tijdens de operatie en het beheer van het systeem nodig zijn (zie legenda in Figuur 3).
- aangegeven welke uitgangspunten en aannames onderliggend zijn aan de ontwerpalternatieven

Het stroomschema en de uitgangspunten vormen samen de *systeemaafbakening* voor elk ontwerpalternatief. Dit ontwerpalternatief is gebaseerd op de bestaande situatie op de RWZI en bio energie centrale van Alkmaar en op basis van deze afbakening zijn vervolgens – voor elk ontwerpalternatief – berekeningen gemaakt en informatie verzameld over de 16 kenmerken uit het Donut Model. In Bijlage III is de overzichtstabel van de informatieverzameling terug te vinden. In Paragraaf 3.4 zijn de resultaten van de vergelijkende analyse beschreven.

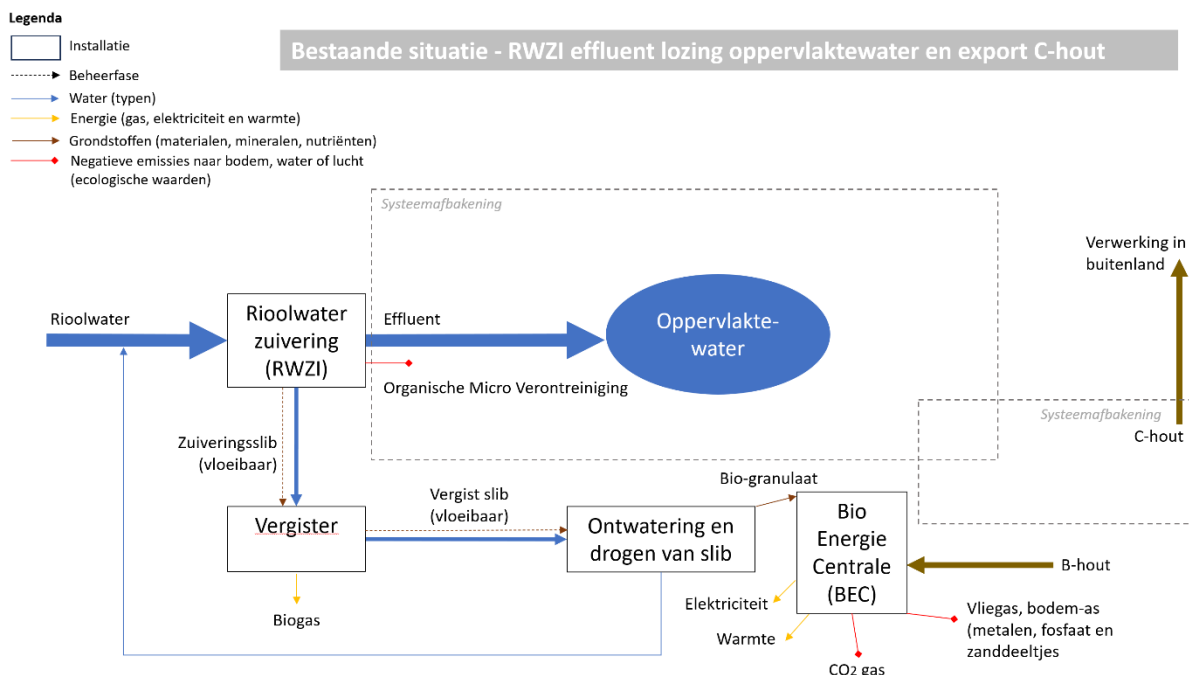
Legenda

Figuur 3. Legenda van het stroomschema dat voor elk ontwerpalternatief is uitgewerkt. Dit stroomschema is gebaseerd op de stofstromen (Water, Energie en Grondstoffen) en geeft inzicht in de negatieve emissies naar bodem, water en lucht (ecologische waarden). Deze onderdelen zijn kenmerken van het Donut Model voor de Circulaire Waterketen

3.3.1 Bestaande situatie: RWZI en export C-kwaliteit hout

In de bestaande situatie is organische belaste huishoudelijk, stedelijk en industrieel afvalwater de input stroom, dat wordt verwerkt in een RWZI. Het effluent wordt na behandeling geloosd op oppervlakte water. C-kwaliteit hout wordt geëxporteerd naar het buitenland.

In Figuur 4 is te zien welke technische installaties, stofstromen en negatieve emissies in dit ontwerpalternatief voorkomen. Vervolgens wordt uitgelegd hoe het systeem is afgebakend en welke uitgangspunten zijn uitgewerkt voor dit scenario, op basis van de praktijksituatie op RWZI Alkmaar waarin het afvalwater na behandeling wordt geloosd op oppervlaktewater en C-kwaliteit hout wordt geëxporteerd naar het buitenland.



Figuur 4 Stroomschema ontwerpalternatief 'RWZI en export C-kwaliteit hout

Systeemafbakening ontwerpalternatief RWZI en export C-kwaliteit hout

Installaties en beheer

De basis van dit ontwerpalternatief is hetzelfde als de andere twee ontwerpalternatieven: rioolwater wordt behandeld in een RWZI, waarbij uiteindelijk een gezuiverde waterstroom vrijkomt, het effluent (output). Bij de biologische processen op de RWZI komt een slibstroom vrij, die vergist en gedroogd wordt. Uiteindelijk wordt dit

gedroogde slib verbrand. Omdat de RWZI in alle gevallen gelijk is, zal de RWZI en sliblijn in voorliggende studie buiten beschouwing worden gelaten.

Het C-kwaliteit hout wordt geëxporteerd naar buiten de Nederlandse landsgrenzen.

Stofstromen

In dit ontwerpalternatief wordt één waterstroom onderscheiden binnen de systeemafbakening, namelijk het RWZI effluent dat vrijkomt en geloosd wordt op oppervlaktewater.

Er zijn geen energiestromen zichtbaar binnen de systeemafbakening van dit ontwerpalternatief.

Er is geen grondstofstroom te onderscheiden binnen de systeemafbakening van dit ontwerpalternatief.

Er zijn een negatieve emissie die vrijkomt binnen de systeemafbakening van dit ontwerpalternatief, dit zijn de organische microverontreinigingen.

Uitgangspunten ontwerpalternatief

Voor het verzamelen van de gegevens voor dit ontwerpalternatief zijn de volgende uitgangspunten geformuleerd:

- Per uur wordt 2000 m³ effluent geproduceerd
- Het RWZI effluent bevat microverontreinigingen, natuurlijk organisch materiaal, nutriënten en zouten
- Er wordt jaarlijks 150.000 ton C-kwaliteit hout geëxporteerd naar het buitenland

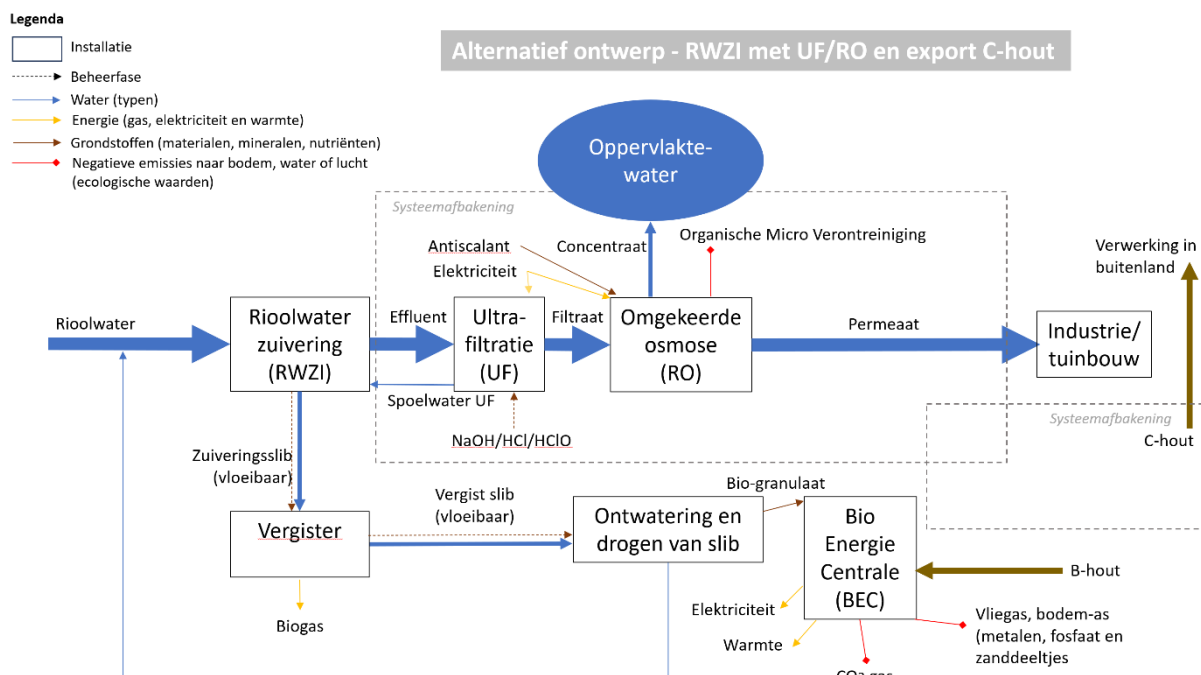
3.3.2 Alternatief ontwerp: RWZI met UF/RO en export C-kwaliteit hout

In de bestaande situatie is organische belaste huishoudelijk, stedelijk en industrieel afvalwater de input stroom, dat wordt verwerkt in een RWZI. Het effluent wordt opgewerkt in een RO (omgekeerde osmose), met een ultrafiltratie als voorzuivering. Ultrafiltratie verwijdert zwevende stoffen en RO kan ontzouten. Beide processen zijn ook een barrière voor bacteriën en virussen. Het spoelwater van het ultrafiltratie wordt teruggevoerd naar de RWZI. Het spoelwater zal ook chemicaliën van de chemische reinigingen (CEB = chemical enhanced backwash) bevatten.

Het permeaat, dat vrij is van zouten, organische microverontreinigingen en pathogenen (in principe demi water), wordt aangeboden aan industrie en tuinders en nuttig ingezet. De geconcentreerde reststroom van de RO, dat zouten en organische stoffen en micro verontreinigingen bevat, wordt geloosd op oppervlaktewater.

C-kwaliteit hout wordt geëxporteerd naar het buitenland.

In Figuur 5 is te zien welke technische installaties, stofstromen en negatieve emissies in dit ontwerpalternatief voorkomen. Vervolgens wordt uitgelegd hoe het systeem is afgebakend en welke uitgangspunten zijn uitgewerkt voor dit scenario, op basis van de praktijksituatie op RWZI Alkmaar en de bio energie centrale van HVC.



Systeemafbakening ontwerpalternatief RWZI met UF/RO en export C-kwaliteit hout

Figuur 5 Stroomschema ontwerpalternatief 'RWZI met UF/RO en buitenlandse export van C-kwaliteit hout'

Installaties en beheer

In dit ontwerpalternatief wordt rioolwater behandeld in een RWZI, waarbij uiteindelijk een gezuiverde waterstroom vrijkomt, het effluent. Bij de biologische processen op de RWZI komt een slijbstream vrij, die vergist en gedroogd wordt. Uiteindelijk wordt dit gedroogde slijb verbrand. Omdat de RWZI in alle gevallen gelijk is, zal deze in voorliggende studie buiten beschouwing worden gelaten. Het effluent wordt in dit ontwerp verder opgewerkt met ultrafiltratie en RO.

C-kwaliteit hout wordt geëxporteerd naar het buitenland.

Stofstromen

In dit ontwerpalternatief worden vier waterstromen onderscheiden, namelijk het RWZI effluent, spoelwater van de ultrafiltratie, de geconcentreerde reststroom en RO permeaat (zout-arm water).

Er zijn ook twee energiestromen zichtbaar in dit ontwerpalternatief. Het gaan om elektriciteit die gebruikt wordt in de UF en RO.

Er zijn twee grondstofstromen te onderscheiden in dit ontwerpalternatief; i) schoonmaakchemicaliën (zoutzuur, natronloog en chloorbleekloog) voor het reinigen van de UF en ii) anti-scalant die gedoseerd wordt aan de RO.

Er zijn een negatieve emissie die vrijkomt binnen de systeemafbakening van dit ontwerpalternatief, dit zijn organische microverontreinigingen.

Uitgangspunten ontwerpalternatief

Voor het verzamelen van de gegevens voor dit ontwerpalternatief zijn de volgende uitgangspunten geformuleerd:

- Per uur wordt 2200 m³ effluent geproduceerd (2000 m³/h rioolwater plus 200 m³/h spoelwater van de UF)
- De UF heeft een spoelwaterverlies van 10% (back flush), dat is 200 m³/h
- De RO produceert bij een recovery van 90% uit 2000 m³/h voedingswater, 1800 m³/h permeaat. Als reststroom blijft een geconcentreerde reststroom van 200 m³/h over dat geloosd wordt op oppervlaktewater;

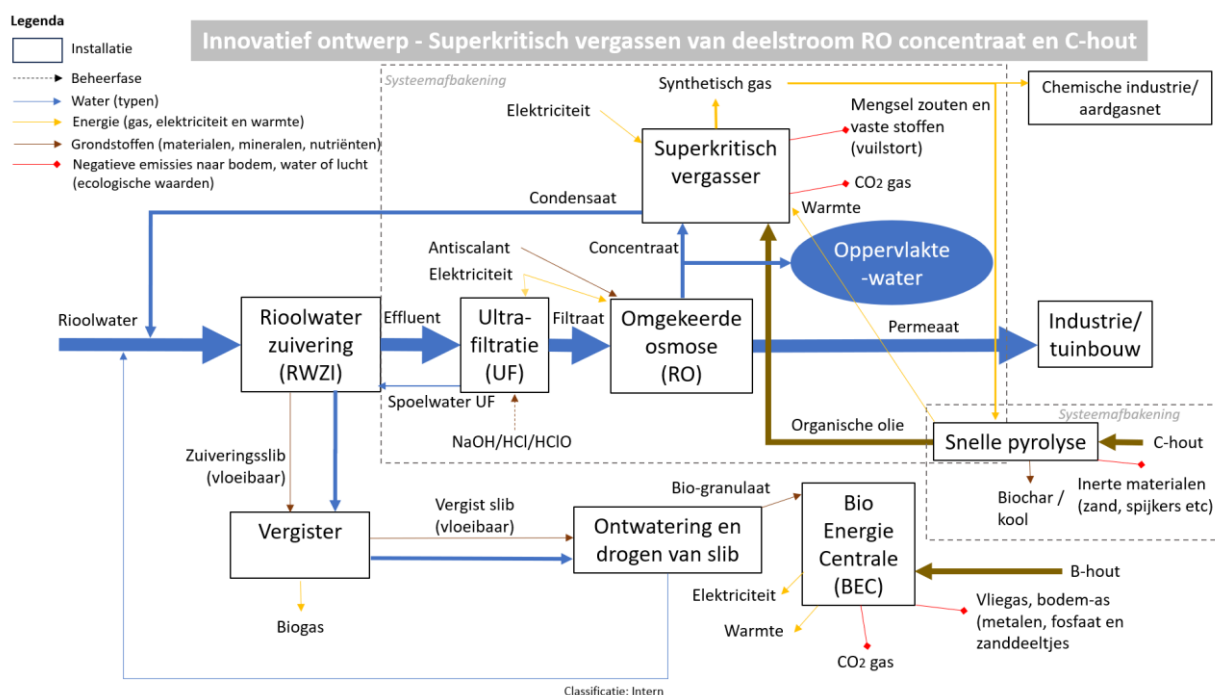
- De flux (water stroomsnelheid door de membranen) van de UF is 25 l/m²/h en word teruggespoeld met een flux van 100 l/m²h. Per uur productie is de UF installatie 54.5 minuten in productie en 5.5 minuten buiten bedrijf (o.a. terugspoelen) (Pers. Comm. Ron Jong, 2024).
- De RO installatie word bedreven met 23 l/m²h, en een voedingsdruk van 8.7 bar (IMS design Ron Jong, 2024).
- De geconcentreerde reststroom bevat organische microverontreinigingen (zoals bestrijdingsmiddelen, geneesmiddelen en cosmetica) in circa 10x hogere concentraties als het voedingswater vanwege het gereduceerde volume van de waterstroom die geloosd wordt. De totale belasting aan organische microverontreinigingen van het oppervlaktewater blijft hetzelfde.
- De geconcentreerde reststroom bevat natuurlijk organisch materiaal in concentraties van enkele (tientallen) milligrammen per liter (TOC/DOC). Ter referentie: het energetisch break-even punt van superkritisch vergassen ligt bij enkele honderden grammen organisch materiaal. De organische fractie in de middels RO geconcentreerde reststroom is daarmee dus verwaarloosbaar m.b.t. syngas productie.
- Aan de RO wordt 2,5 mg/l anti-scalant gedoseerd om afzetting van zouten te voorkomen
- Er wordt jaarlijks 150.000 ton C-kwaliteit hout geëxporteerd naar het buitenland

3.3.3 Innovatief ontwerp: Superkritisch vergassen

In het innovatie ontwerp is het organische belaste huishoudelijk, stedelijk en industrieel afvalwater, dat via de openbare riolering wordt geloosd, de input stroom, die wordt verwerkt in een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI). Het effluent wordt vervolgens nabehandeld in een membraanfiltratie, bestaande uit een ultrafiltratie (UF) en omgekeerde osmose (RO) stap. Het productwater (permeaat) is van hoge kwaliteit en kan worden hergebruikt in industrie en tuinbouw. De geconcentreerde reststroom, dat alle stoffen bevat die zijn tegengehouden door de membranen, wordt gedeeltelijk - met bio-olie gewonnen uit C-kwaliteit hout doormiddel van pyrolyse - vergast in een superkritische (water)vergasser.

Bij het Innovatieve ontwerp wordt de middels RO geconcentreerde reststroom van het behandelde RWZI effluent, samen met het in olie omgezette C-kwaliteit hout, geïnjecteerd in een superkritische (water)vergasser. Hierin worden organische stoffen en organische microverontreinigingen bij hoge druk en temperatuur direct omgezet in een hoogcalorisch gasmengsel (syn-gas), zie Figuur 6.

Snelle pyrolyse is een innovatief en energie-intensief proces dat organische moleculen in afwezigheid van zuurstof sterk verhit en daarmee omzet in een organische olie-fractie én een koolstof-fractie (biochar). Deze organische olie is verpompbaar én bevat geen/weinig zout en/of andere anorganische componenten, wat het in potentie geschikt maakt voor continue superkritische water vergassing.



Figuur 6 Stroomschema ontwerpalternatief 'RWZI met UF/RO, snelle pyrolyse en superkritisch vergaassen'

Superkritisch vergassen is een nieuwe, innovatieve en nog in ontwikkeling zijnde technologie die in potentie (vloeibare) organische reststromen zoals rioolwater en plastic, maar ook GFT, agrarische biomassa, mest en reststoffen uit de industrie kan verwerken tot groen synthetisch gas. Dit 'syn-gas' bestaat hoofdzakelijk uit waterstof en methaan, maar bevat ook koolstofdioxide, koolmonoxide en eventueel waterstofsulfide. De conversie vindt plaats onder hoge druk (>221 Bar) en temperatuur (>375° Celsius) boven het zogenaamde superkritische punt van water. De output bestaat naast het syn-gas uit gedemineraliseerd water en een laagwaardig mengsel van mineralen.

Systeemafbakening ontwerpalternatief Superkritisch vergassen

Installaties en beheer

In dit ontwerpalternatief wordt rioolwater behandeld in een RWZI, waarbij uiteindelijk een gezuiverde waterstroom vrijkomt, het effluent. Omdat de RWZI in alle gevallen gelijk is, zal deze in voorliggende studie buiten beschouwing worden gelaten. Het effluent wordt in dit ontwerp verder opgewerkt met ultrafiltratie en RO.

De middels RO geconcentreerde reststroom wordt gedeeltelijk - samen met de uit C-kwaliteit hout gewonnen bio-olie - aangeboden aan een superkritische vergasser.

Er wordt geen C-kwaliteit houtstroom meer geëxporteerd naar gebruikers in het buitenland.

Stofstromen

In dit ontwerpalternatief worden vijf waterstromen onderscheiden, namelijk het RWZI effluent, spoelwater van de ultrafiltratie, de geconcentreerde reststroom en RO permeaat en demi water (condensaat) uit de superkritische vergasser.

Er zijn ook vier energiestromen zichtbaar in dit ontwerpalternatief. Het gaat om elektriciteit die gebruikt wordt in de UF, de RO en in de superkritische vergasser en syn gas (synthetisch gas) dat vrijkomt bij de superkritische water vergassing en gedeeltelijk gebruikt wordt voor de warmtevoorziening van de snelle pyrolyse.

Er zijn drie grondstofstromen te onderscheiden in dit ontwerpalternatief. Zoutzuur, natronloog en chloorbleekloog worden regelmatig gebruikt bij het reinigen van de UF, anti-scalant die gedoseerd wordt aan de RO en de C-kwaliteit houtstroom die (na omzetting in olie door snelle pyrolyse) verwerkt wordt in de superkritische vergasser.

Er zijn twee negatieve emissies die vrijkomen in dit ontwerpalternatief. De koolstofstroom (biochar) en inerte delen (zand, spijkers) van de snelle pyrolysestap en een mengsel van zouten vaste stoffen uit de superkritische vergasser.

Uitgangspunten ontwerpalternatief

Voor het verzamelen van de gegevens voor dit ontwerpalternatief zijn de volgende uitgangspunten geformuleerd:

- Per uur wordt 2200 m³ effluent geproduceerd (2000 m³/h rioolwater plus 200 m³/h spoelwater van de UF)
- De UF heeft een spoelwaterverlies van 10% (back flush), dat is 200 m³/h
- De RO produceert bij een recovery van 90% uit 2000 m³/h voedingswater, 1800 m³/h permeaat. Als reststroom blijft een geconcentreerde reststroom van 200 m³/h over waarvan 20 m³/h aangeboden wordt aan de superkritische vergasser.
- De flux (water stroomsnelheid door de membranen) van de UF is 25 l/m²/h en word teruggespoeld met een flux van 100 l/m²h. Per uur productie is de UF installatie 54.5 minuten in productie en 5.5 minuten buiten bedrijf (o.a. terugspoelen) (Pers. Comm. Ron Jong, 2024).
- De RO installatie word bedreven met 23 l/m²h, en een voedingsdruk van 8.7 bar (IMS design Ron Jong, 2024).
- De geconcentreerde reststroom bevat organische microverontreinigingen (zoals bestrijdingsmiddelen, geneesmiddelen en cosmetica) in circa 10x hogere concentraties als het voedingswater vanwege het gereduceerde volume van de waterstroom die geloosd wordt. De totale belasting aan organische microverontreinigingen van het oppervlaktewater neemt met circa 15% af aangezien een gedeelte van de geconcentreerde reststroom behandeld wordt.
- De geconcentreerde reststroom bevat natuurlijk organisch materiaal in concentraties van enkele (tientallen) milligrammen per liter (TOC/DOC). Ter referentie: het energetisch break-even punt van superkritisch vergassen ligt bij enkele honderden grammen organisch materiaal. De organische fractie in de middels RO geconcentreerde reststroom is daarmee dus verwaarloosbaar m.b.t. syngas productie.
- Aan de RO wordt 2,5 mg/l anti-scalant gedoseerd om afzetting van zouten te voorkomen
- Er wordt jaarlijks 150.000 ton C-kwaliteit hout (met 80% droogstof-gehalte, 98% organisch materiaal) middels snelle pyrolyse met een efficiëntie van 68% omgezet in organische olie. Naast deze organische olie wordt er per jaar circa 38.000 ton aan op biochar lijkend afval gevormd, mogelijk is dit een nog te valoriseren stroom. Voor deze analyse word er initieel vanuit gegaan dat het ontstane biochar kosten neutraal afgevoerd kan worden als brandstof naar de bio energy centrale op het terrein van HVC.
- Uitgaande van het gemiddelde een zout + inertia gehalte van gemiddeld 0,66 gram / L effluent (gemiddelde zout gehalte van RWZI effluent in Nederland tussen 2014 en 2018) wordt er jaarlijks circa 990.000 kg zoutmengsel vrij uit de superkritische vergasser [21]

Zie voor de volledige lijst Bijlage IV

3.4 Resultaten analyse en beoordeling ontwerpalternatieven

Voor elk van de ontwerpalternatieven zijn gegevens verzameld voor de 16 kenmerken uit het Donut Model (zie Bijlage I). Op basis van expert judgement en reflectie met stakeholders is ingeschat of een ontwerpalternatief, waaronder de ‘alternatief ontwerp’ en ‘innovatief ontwerp’, lager of hoger scoort ten opzichte van de bestaande situatie (dit ontwerpalternatief is als referentie altijd 0). In Tabel 4 is overzichtelijk weergegeven hoe de ontwerpalternatieven zijn beoordeeld. In de volgende paragrafen is per kenmerk beschreven waarom een score is toegekend. In de discussie (paragraaf 3.5) zijn een aantal overwegingen voor het toekennen van de scores beschreven. In de conclusie is beschreven in hoeverre de verschillende ontwerpalternatieven bijdragen aan de inrichting van een circulaire waterketen in Alkmaar.

	Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater Slibstromen verwerken in verbrandingsoven	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik Slib en geconcentreerde reststroom verwerken in verbrandingsoven	Innovatief ontwerp: Verbonden afval-, water- en energieketen Slib en geconcentreerde reststroom verwerken met superkritische water vergassing
Energie en Stofstromen	Energieverbruik	0	-	--
	Gebruik duurzame energie	0	0	+
	Terugwinning Energie	0	0	++
	Grondstoffenverbruik	0	-	--
	Gebruik duurzame grondstoffen- en water	0	0	+
	Terugwinning grondstoffen en water	0	+	++
Systeemeigenschappen	Zelfvoorzienendheid	0	-	--
	Hergebruikspotentie en Adaptiviteit	0	+	-
	Financiële waarde	0	0	++
	Integraliteit/Multifunctionaliteit	0	+	+
	Ecologische waarde	0	-	+
Waarde voor Mensen	Volksgezondheid	0	0	+
	Veiligheid	0	0	-
	Inclusiviteit	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
	Comfort	0	0	-
	Kwaliteit van de leefomgeving	0	0	-

Tabel 4. Overzichtstabel met beoordeling van de verschillende ontwerpalternatieven

3.4.1 Energieverbruik

Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar het energieverbruik (gas, warmte en elektriciteit) van de verschillende ontwerpalternatieven. Op basis van berekeningen en beschikbare gegevens (zie de informatiesheet bijlage II) is ingeschat hoeveel energie in elk situatie wordt verbruikt voor de periode van 50 jaar. Volgens het Donut Model gaat het daarbij om

- 1) De energie die verbruikt wordt voor de productie en transport van de materialen in de installaties
- 2) Het energieverbruik tijdens de aanleg, operatie en het beheer van de installaties

In deze studie is wegens gebrek aan informatie alleen gekeken naar het jaarlijks energieverbruik van de operatie van de installaties. De scores die zijn toegekend voor dit kenmerk gaan over de hoeveelheid energie die wordt verbruikt. Lager energieverbruik betekent een hogere score (--/-/0/+). Met dit kenmerk worden ontwerpen en maatregelen die bijdragen aan de *reductie van het gebruik van energie* dus positiever beoordeeld.

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik	Innovatief ontwerp: Verbonden afval-, water- en energieketen
Energieverbruik	0	-	--

In de bovenstaande tabel is te zien dat zowel het alternatief ontwerp, als het innovatieve ontwerp lager scoren dan de bestaande situatie. Het behandelen van het effluent met de UF/RO betekent dat er installaties worden geplaatst die energie verbruiken. Het jaarlijkse energieverbruik wordt geschat op 23 duizend GJ. Er wordt meer energie verbruikt dan in de bestaande situatie waar er geen UF/RO systemen worden ingezet. Door het alternatieve ontwerp neemt de circulariteit van de waterketen dus af (-).

Met het innovatieve ontwerp wordt er niet alleen een UF/RO geplaatst, maar ook een pyrolyse installatie en een superkritische vergasser. Het jaarlijkse energieverbruik van de pyrolyse wordt geschat op 3308 duizend GJ per jaar en voor de superkritische vergasser 456 duizend GJ per jaar. Het totale verbruik is 3763 duizend GJ per jaar. Er wordt aanzienlijk meer energie verbruikt dan in de bestaande situatie en bij het alternatieve ontwerp. Door het innovatieve ontwerp is er sprake van een grote afname van de circulariteit van de waterketen (--).

3.4.2 Gebruik duurzame energie

Dit kenmerk wordt volgens het Donut Model beoordeeld door te kijken naar het percentage van de totale hoeveelheid van het energieverbruik met duurzame energie (wind-, zonne-energie, waterkracht, aard- en bodemwarmte, groene waterstof, duurzame biomassaastroom) is ingevuld. In deze studie gaat het om het gebruik van Syngas, syngas in deze context is een gas geproduceerd uit een hernieuwbare bron (hout) en mag hierdoor als groene brandstof worden gezien[22].

Hoe hoger het percentage aan duurzame energie, hoe hoger de score (--/-/0/+). Met dit kenmerk worden ontwerpen en maatregelen die ervoor zorgen dat er minder grijze energie gebruiken beter beoordeeld.

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik	Innovatief ontwerp: Verbonden afval-, water- en energieketen
Gebruik duurzame energie	0	0	+

Over het algemeen is het voor elke situatie mogelijk om duurzame energie af te nemen en daarmee bij te dragen aan de circulariteit van de waterketen, maar voor deze case is uitgegaan dat dit geen verschil maakt in de ontwerpen. Daarbij is er alleen bij het innovatieve ontwerp sprake van het gebruik van duurzame energie waardoor de circulariteit

van de waterketen toeneemt (+). Er wordt namelijk warmte (syngas) teruggewonnen (zie paragraaf 3.4.3) uit de superkritische water vergassing (en een beetje uit de pyrolyse) dat direct in het pyrolyse en vergassingsproces kan worden benut. Deze energie is als duurzaam te classificeren.

3.4.3 Terugwinning Energie

Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar het (type) energie dat wordt teruggewonnen tijdens de bouw en operatie van het technische ontwerp. De scores die zijn toegekend aan dit kenmerk gaan enerzijds over de *hoeveelheid* teruggewonnen energie, maar er wordt ook gekeken naar het *type* en de *kwaliteit* van de energie. In hoeverre is er sprake van terugwinning van energie dat kan worden benut in of voor andere toepassingen?

Ontwerpen waarmee grotere hoeveelheden energie van hoogwaardige kwaliteit worden teruggewonnen krijgen een hogere score (--/-/0/+). Met dit kenmerk worden ontwerpen en maatregelen die zorgen voor het nuttig toepassen van teruggewonnen energie positiever beoordeeld.

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik	Innovatief ontwerp: Verbonden afval-, water- en energieketen
Terugwinning Energie	0	0	++

In de bovenstaande tabel (en Tabel 4) is te zien dat er in de bestaande situatie en met het alternatieve ontwerp géén energie wordt teruggewonnen in de processen van de afvalwaterzuivering en de UF/RO (0). Daardoor blijft de circulaire waterketen gelijk.

Met het innovatieve ontwerp wordt wel een bijdrage geleverd aan de circulariteit van de waterketen (++) . Middels het pyrolyseproces en de superkritische water vergassing wordt energie teruggewonnen in de vorm van warmte en syngas, namelijk bruto 4965 duizend GJ per jaar aan syngas, met het verbruik van het syngas in de pyrolyse installatie komt het netto uit op 1201 duizend GJ per jaar syngas, vergelijkbaar met aardgas. Daarnaast komt er 1323 MJ warmte vrij van relatief hoge kwaliteit die gebruikt kan worden om de voedingsstroom van de superkritische vergassingsinstallatie op te warmen maar ook zeer bruikbaar voor het gebruik in huizen, zwembaden en in het bedrijfsleven. Het verbranden van het c-hout (bestaande situatie) zou, ter vergelijking 2083 duizend GJ per jaar opleveren en komt neer op ongeveer de helft van de opbrengst van de pyrolyse. 76% van het syngas, de teruggewonnen energie, wordt direct ingezet in *warmte* voor het pyrolyseproces en om het vergassingsproces op gang te houden. Daardoor wordt het verbruik van ‘nieuw opgewekte energie’ beperkt (zie paragraaf 3.4.1 Energieverbruik en paragraaf 3.4.2 Duurzame energie). Het syngas dat overblijft kan worden verkocht en geïnjecteerd worden in het aardgasnet [22]. Naast de verkoop van syngas is er een significante stroom hoogwaardige energie die geleverd kan worden aan het warmtenet van ENnatuurlijk in Leeuwarden, dit gaat om 1323 duizend GJ/jaar.

3.4.4 Grondstoffen en waterverbruik

Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar het grondstoffen- en waterverbruik van de verschillende ontwerpalternatieven. Op basis van berekeningen en beschikbare gegevens (zie Bijlage II) is ingeschat hoeveel grondstoffen en water in elk situatie wordt verbruikt voor de periode van 50 jaar. In het Donut Model zijn de opgenomen:

- 1) de grondstoffen en het waterverbruik van de productie van de materialen in de installaties
- 2) de grondstoffen en het waterverbruik tijdens de aanleg, operatie en het beheer van de installaties

Voor deze studie zijn alleen beschikbare gegevens gevonden over de grondstoffen die nodig zijn voor de aanleg en operatie van de installaties. Het waterverbruik is niet meegenomen; in Tabel 1 en Tabel 4 is het kenmerk DONUT model aangepast naar grondstoffenverbruik . De scores die zijn toegekend voor dit kenmerk gaan over de *hoeveelheid*

grondstoffen en water dat wordt verbruikt. Lager grondstoffen (- en water)verbruik betekent een hogere score (--/-/0/+). Ontwerpen en maatregelen die bijdragen aan de *reductie van het verbruik van water en grondstoffen* dus positiever beoordeeld.

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik	Innovatief ontwerp: Verbonden afval-, water- en energieketen
Grondstoffen- en Waterverbruik	0	-	--

In de bovenstaande tabel (en Tabel 4) is te zien dat het innovatieve ontwerp het laagst scoort op dit kenmerk (--). Voor het alternatieve ontwerp geldt dat er verschillende materialen, zoals kunststoffen, RVS, elektronica en membranen, nodig zijn voor de aanleg van de UF/RO. Voor het beheer en reiniging van de UF/RO is anti-scalant nodig. Het grondstoffengebruik is groter dan in de bestaande situatie en daarom is er sprake van een afname van de circulariteit van de waterketen.

Voor het innovatieve ontwerp geldt dat er naast de grondstoffen voor de UF/RO ook grondstoffen nodig zijn voor de superkritische vergasser en de pyrolyse installatie. Het gaat daarbij om grote hoeveelheid aan materialen, waaronder ook high-tech materialen – met name zeer hoogwaardige staallegeringen en (kritische) materialen voor warmtegeleiding en aansturing zoals koper en computerchips. Het innovatieve ontwerp zorgt daarmee voor een afname van de circulariteit van de waterketen omdat er veel en mogelijk ook kritische materialen nodig zijn voor de installaties.

3.4.5 Gebruik duurzame grondstoffen en water

Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar het percentage van de totale hoeveelheid van de grondstoffen en water dat met hergebruikte materie is ingevuld.

Hoe hoger het percentage aan hergebruikte materie, hoe hoger de score (--/-/0/+). Met dit kenmerk worden ontwerpen en maatregelen die ervoor zorgen dat er minder grondstof of waterreserves hoeven worden aangeboord (en mogelijk uitgeput) beter beoordeeld. Het gaat dus om het *vervangen* of een *substituut* van een primaire grondstof.

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik	Innovatief ontwerp: Verbonden afval-, water- en energieketen
Gebruik duurzame grondstoffen- en water	0	0	+

In de bovenstaande tabel (en Tabel 4) is te zien dat het innovatieve ontwerp hoger scoort dan de bestaande situatie (+). Dit komt doordat met het alternatieve ontwerp C-hout wordt verwerkt in de pyrolyse installatie. Door het C-hout te verwerken in de pyrolyse installatie wordt het niet meer verbrand in de oven en middels de verhitting door pyrolyse wordt er meer energie teruggewonnen, 6288 duizend GJ/jaar ten opzichte van 2083 duizend GJ/jaar. Hierdoor neemt de circulariteit van de waterketen toe.

3.4.6 Terugwinning grondstoffen en water

Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar de (/het type) grondstoffen- en het water dat wordt teruggewonnen tijdens de bouw en operatie van het technische ontwerp. Op basis van berekeningen en beschikbare gegevens (zie de informatiesheet bijlage II) is ingeschat hoeveel grondstoffen en water in elk situatie wordt teruggewonnen voor de periode van 50 jaar.

De scores die zijn toegekend aan dit kenmerk gaan enerzijds over de *hoeveelheid* teruggewonnen grondstoffen en water, maar er wordt ook gekeken naar het *type* en de *kwaliteit* van de grondstof. Is er sprake van teruggewinning van grondstoffen die potentieel benut kunnen worden in of voor andere toepassingen? Ontwerpen waarmee grotere hoeveelheden grondstoffen en water van hoogwaardige kwaliteit worden teruggewonnen worden krijgen een hogere score (--/-/0/+). Met dit kenmerk worden ontwerpen en maatregelen die zorgen voor het nuttig toepassen van grondstoffen en water (door teruggewinning, hergebruik en recycling) positiever beoordeeld.

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik	Innovatief ontwerp: Verbonden afval-, water- en energieketen
Terugwinning grondstoffen en water	0	+	++

In de bovenstaande tabel (en Tabel 4) is te zien zowel het alternatieve ontwerp, als het innovatieve ontwerp een bijdrage leveren aan de circulaire waterketen. Voor beide ontwerpen geldt dat door de UF/RO 90% van het effluent water kan worden teruggewonnen. In het geval van het innovatieve ontwerp wordt er door de pyrolyse ook biochar teruggewonnen, hetgeen afhankelijk van de kwaliteit, nog als grondstof kan worden ingezet voor bijvoorbeeld de staalindustrie, in de waterzuiveringssector of in de landbouw. Om deze reden is er een grotere bijdrage aan de circulariteit van de waterketen in het innovatieve ontwerp.

3.4.7 Zelfvoorzienendheid

Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar de mate waarin gebruikers – in dit geval het waterschap of SCW Systems – voor het beheer van het technische ontwerp afhankelijk zijn van andere organisaties, landen en bronnen voor de toevoer van grondstoffen en energie.

Daarbij geldt, hoe minder afhankelijk het waterschap of SCW Systems is van andere locaties, landen en of bronnen hoe hoger de score (--/-/0/+).

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik	Innovatief ontwerp: Verbonden afval-, water- en energieketen
Zelfvoorzienendheid	0	-	--

In de bovenstaande tabel (en Tabel 4) is te zien dat er voor beide ontwerpen sprake is van een afname van de circulariteit van de waterketen. In het geval van het alternatieve ontwerp is er afhankelijkheid van diverse producenten en leveranciers uit de wereld, EU en Nederland voor materialen en de installaties. Dit ontwerp krijgt een negatieve score (-). Voor het innovatieve ontwerp geldt dat er meer high tech materiaal nodig is, waardoor er ook grotere afhankelijkheid van landen als China, in een instabieler wordende wereld. Dit is een groter risico en daardoor krijgt het innovatieve ontwerp een lagere score (- -). Het benutten van c-hout maakt de pyrolyse installatie meer zelfvoorzienend, omdat het gaat om een Nederlandse stroom die anders naar Duitsland gaat, maar dit is niet doorslaggevend voor de beoordeling.

3.4.8 Hergebruikspotentie en adaptiviteit

Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar de mate waarin de ontwerpen zijn gebouwd op basis van modulaire of 'cradle to cradle principes', waardoor onderdelen van het ontwerp eenvoudig elders kunnen worden toegepast. Er is gekeken naar de aanpasbaarheid (verandering van taak), veelzijdigheid (verandering van ruimte), vervangbaarheid (verandering van prestatie), omvormbaarheid (verandering van gebruik), schaalbaarheid

(verandering van formaat) en verplaatsbaarheid (verandering van locatie) van (onderdelen van) het technische ontwerp.

Daarbij geldt, hoe meer adaptief, flexibel en modulair het technische ontwerp, hoe hoger de score (--/-/0/+/>

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik	Innovatief ontwerp: Verbonden afval-, water- en energieketen
Hergebruiks potentie en Adaptiviteit	0	+	-

In de bovenstaande tabel (en Tabel 4) is te zien dat er met het alternatieve ontwerp een bijdrage wordt geleverd aan de circulariteit van de waterketen. De UF/RO is namelijk modulair en door geringe omvang makkelijk verplaatsbaar. De levensduur van het systeem is 25 jaar en daarna wordt het materiaal afgeschreven, maar intussen kan het dus op verschillende plekken worden ingezet. Voor het innovatieve ontwerp geldt dat de pyrolyse installatie en de installatie voor superkritische water vergassing ook modulair zijn, maar ze zijn minder verplaatstbaar en aanpasbaar dan de RO. Om deze reden wordt voor het innovatieve ontwerp beoordeeld dat het de circulariteit van de waterketen afneemt.

3.4.9 Financiële waarde

Dit kenmerk is beoordeeld door een schatting te maken van de investeringskosten van de technologie-combinatie voor het gebruik van de technologie-combinatie gebruikmakend van de huidige prijzen en stand van zaken van de technologie. Energieverbruik, grondstoffen en personeelskosten e.d. zijn daarbij los meegenomen pyrolyse en de vergasser en niet meegenomen voor de UF en RO installatie aangezien die meegenomen zijn in de RHDHV kostencalculator (zie bijlage II voor overzicht van de kosten o.b.v. de RHDHV kostencalculator).

Hoe hoger de investeringskosten, hoe lager de score (--/-/0/+/>

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik	Innovatief ontwerp: Verbonden afval-, water- en energieketen
Financiële waarde	0	0	++

In de bovenstaande tabel (en Tabel 4) is te zien dat met het innovatieve ontwerp sprake is van een toename van de circulariteit van de waterketen. Voor het innovatieve ontwerp geldt dat er grote investeringen gedaan moeten worden in de installaties, maar dat de investering zich in 3.9 jaar zou terugverdienen. De totale investeringskosten voor de UF/RO, Pyrolyse en Superkritische Vergasser (zie bijlage II) zijn 248 miljoen euro met een jaarlijkse opbrengst van 64 miljoen euro aan gas en warmte (jaarlijkse exploitatiekosten zijn hierin meegenomen). Dit is een verbetering ten opzichte van de nulsituatie. In het geval dat het biochar product gevaloriseerd kan worden in een hoogwaardige toepassing loopt de terugverdientijd zelfs terug tot 3.3 jaar. De geschatte investeringskosten voor het alternatieve ontwerp (de UF/RO) zijn 59 miljoen en exploitatiekosten 7.8 miljoen per jaar. De opbrengsten zijn 10,1 miljoen per jaar. Voor dit ontwerp komt de financial return on investment uit op ongeveer 26 jaar. De afschrijvingstermijn van de installatie is ongeveer gelijk aan de terugverdientijd (inclusief de operationele kosten), waardoor gezegd kan worden dat er geen grote verandering is t.a.v. de nulsituatie.

3.4.10 Integraliteit

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

Hoe hoger het aantal uitdagingen met het technisch ontwerp worden aangepakt, hoe hoger de score (--/-/0/+/>

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik	Innovatief ontwerp: Verbonden afval-, water- en energieketen
Integraliteit/Multifunctionaliteit	0	+	+

In de bovenstaande tabel (en Tabel 4) is te zien dat beiden ontwerpen zorgen voor een toename van de circulariteit van de waterketen op het kenmerk integraliteit. Voor het alternatieve ontwerp geldt dat er een bijdrage wordt geleverd aan de uitdaging van (zoet)waterschaarste. Hier is ook sprake van in het geval van het innovatieve ontwerp, maar met dit ontwerp kan ook de kwaliteit van het oppervlaktewater verbeteren door de vermindering van de vracht van OMV's, pathogenen en zouten. In het geval van het innovatieve ontwerp neem de totale vracht met OMV's, pathogenen en zouten neemt af van 100% naar ongeveer 90%, dit is vrij laag en daarom is de score ook een +.

3.4.11 Ecologische waarde

Het kenmerk ecologische waarde is in deze analyse beoordeeld door te kijken naar de schade die toe wordt toegebracht aan ecosystemen door emissies die worden uitgestoten naar bodem, water en/of lucht (zowel lokaal als mondiaal).

Hoe hoger de schade die wordt toegebracht aan ecosystemen door emissies naar bodem, water en/of lucht (zowel lokaal als mondiaal), hoe lager de score.

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik	Innovatief ontwerp: Verbonden afval-, water- en energieketen
Ecologische waarde	0	-	+

In de bovenstaande tabel (en Tabel 4) is te zien dat er met het alternatieve ontwerp sprake is van een afname van de circulariteit van de waterketen voor het kenmerk ecologische waarden. Door de zuivering van het effluent komt de geconcentreerde reststroom als puntlozing (10x geconcentreerder) in het oppervlaktewater terecht. De kans op schade aan de aquatische biodiversiteit neemt toe omdat de vracht gelijk blijft, maar de concentratie is toeneemt. In het geval er kwetsbare ecosystemen zijn, nemen de risico's toe.

In het geval van het innovatieve ontwerp neemt de vracht met circa 15% af en komt het effluent met micro's (10 keer geconcentreerder) in het water. Dit brengt nog steeds risico's met zich mee voor kwetsbare ecosystemen. Daarnaast is er sprake van milieuwinst door afname van CO₂-uitstoot in het geval van het innovatieve ontwerp. De verwerking van het C-hout levert evenveel CO₂ uitstoot op (verbranding of pyrolyse en superkritisch vergassen), maar het product dat ontstaat – het syngas – kan als substituuat worden ingezet voor verwarming. Daarvoor hoeven geen andere fossiele bronnen te worden aangeboord. Om de kleine winst in lozing van microverontreiniging en de afname van CO₂ uitstoot is geoordeeld dat het innovatieve ontwerp een bijdrage levert aan de circulariteit voor het kenmerk ecologische waarde.

3.4.12 Volksgezondheid

Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar de mate waarin het toepassen van het technische ontwerp meer, minder of gelijke risico's met zich meebrengt voor de volksgezondheid (in het algemeen). Het bewaken van de risico's voor de volksgezondheid is essentieel voor het sociaal fundament en is daarmee van belang voor de circulariteit van de waterketen.

Hoe lager het risico op ziekte en hoe meer bevorderend het technische ontwerp is voor de volksgezondheid, van mensen zowel lokaal als mondiaal (Maatschappelijk verantwoord Ondernemen, MvO) tijdens de aanleg, operatie en beheer voor de levensduur van het technische ontwerp, hoe hoger de score (--/-/0/+/>

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik	Innovatief ontwerp: Verbonden afval-, water- en energieketen
Volksgezondheid	0	0	+

In de bovenstaande tabel (en Tabel 4) is te zien dat het innovatieve ontwerp een positieve bijdrage levert aan de circulariteit van de waterketen voor het aspect volksgezondheid. Voor beide ontwerpen geldt dat de pathogene micro-organismen worden verwijderd, maar dat dit beperkte invloed heeft op de risico's voor de volksgezondheid. Daarbij worden met het alternatieve ontwerp geen organische micro's verwijderd, maar in het geval van het alternatieve ontwerp wordt circa 15% van de totale vracht aan OMV's verminderd. Daardoor gaan de risico's voor de volksgezondheid iets omlaag maar niet heel significant.

3.4.13 Veiligheid

Voor dit kenmerk is gekeken naar de mate waarin het toepassen van het technische ontwerp risico's voor de (water)veiligheid met zich meebrengt. Daarbij kan het gaan om overstromingsrisico's, ontploffingsrisico's, slachtofferrisico's, risico's van bodemdaling en daarmee samenhangende economische risico's.

Hoe minder risico's ten aanzien van de veiligheid hoe hoger de score (--/-/0/+/>

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik	Innovatief ontwerp: verbonden afval-, water- en energieketen
Veiligheid	0	0	-

In de bovenstaande tabel (en Tabel 4) is te zien dat de circulariteit van de waterketen door het innovatieve ontwerp afneemt. De pyrolyse installatie en de superkritische vergasser opereren namelijk onder hoge druk, met hoge temperaturen en er wordt met brandbare gassen gewerkt. De ontploffingsrisico's en dus voor de veiligheid nemen daardoor toe. Daarbij gaat het om een vernieuwend proces dat ook kinderziektes kan hebben, waardoor de risico's ook toenemen.

3.4.14 Inclusiviteit

Met dit kenmerk wordt gekeken naar de mate waarin met het technische ontwerp sociale (belangen) groepen of burgers worden betrokken bij het gebruik van de toepassing, lokale kennis wordt benut of het waterbewustzijn wordt vergroot. Dit aspect is geen onderdeel geweest van deze studie.

3.4.15 Comfort

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

Hoe hoger de mate van ontzorging (bijv. geen wateroverlast), gebruiksgemak (bijv. geen gedragsaanpassing gevraagd) en (klant)tevredenheid (bijv. door een hoge mate van leveringszekerheid), hoe hoger de score (--/-/0/+ /++).

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik	Innovatief ontwerp: Verbonden afval-, water- en energieketen
Comfort	0	0	-

In de bovenstaande tabel (en Tabel 4) is te zien dat het innovatieve ontwerp lager scoort dan de bestaande situatie en dat het de alternatieve ontwerp zorgt voor een vergelijkbare bijdrage aan de circulariteit van de waterketen. Voor het alternatieve ontwerp geldt dat het comfort van de procesoperators iets verminderd, omdat het gebruik van de UF/RO iets complexer en vooral nieuw is. De tuinders of de industrie kunnen daarnaast ontzorgd worden, omdat ze demi-water kunnen kopen en zelf geen regenwater hoeven op te vangen.

In het geval van het innovatieve ontwerp neemt de complexiteit van de installaties toe en daardoor neemt het gebruiksgemak voor de procesoperators af. Daarnaast neemt ook het geluidsoverlast toe door de superkritische water vergassing en de pyrolyse. De impact hiervan is afhankelijk van de omgeving. In Alkmaar ligt de RWZI relatief afgelegen op een eigen, door begroeiing afgeschermd terrein. Het innovatieve ontwerp heeft een lagere score gekregen dan de bestaande situatie.

3.4.16 Kwaliteit van de leefomgeving

Voor de beoordeling van dit kenmerk wordt gekeken naar de kwaliteit van de leefomgeving. Zorgt de constructie, bouw of plaatsing van het technische ontwerp in de ruimtelijke omgeving voor een meer of minder aantrekkelijke plek? Neemt het technische ontwerp veel of weinig (openbare) ruimte in beslag?

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

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Behandeling afvalwater	Alternatief Ontwerp: Zoetwaterhergebruik	Innovatief ontwerp: Verbonden afval-, water- en energieketen
Kwaliteit van de leefomgeving	0	0	-

In de bovenstaande tabel (en Tabel 4) is te zien dat het innovatieve ontwerp lager scoort (-) dan het alternatieve ontwerp en de bestaande situatie. Voor het alternatieve ontwerp geldt dat de installaties, naar verwachting, op het terrein van de RWZI worden geplaatst en er dus geen extra beslag op de openbare ruimte wordt gelegd. De superkritische vergasser kan uiteindelijk ook op het terrein van de RWZI worden geplaatst – dit is in Alkmaar nog niet het geval – maar er zullen wel meer transportbewegingen op gang komen door de aanvoer van het c-hout in deze regio. Daar staat tegenover dat in het buitenland vrachtwagens van de weg worden gehouden omdat het hout niet geëxporteerd wordt. Al met al is de impact op de lokale situatie overheersend en neemt door het innovatieve ontwerp de circulariteit van de waterketen op dit aspect af.

3.5 Discussie

Het toekennen van scores aan de ontwerpalternatieven betreft een inschatting die zorgvuldig is uitgevoerd door experts en in overleg met andere kennishouders. Echter, de analyse kan door een gebrek aan en onzekerheid over informatie nooit volledig of geheel voorspelbaar zijn. De bijdragen aan de circulaire watersector worden puntsgewijs besproken. In Figuur 7 is een visualisatie en samenvatting van de donutanalyse van de circulaire watersector voor de besproken scenario's weergegeven.

Allereerst het *energieverbruik*: beide alternatieven hebben een hoger verbruik dan de basissituatie. Hoewel dit een inschatting is, zal een preciezere berekening de uitkomsten waarschijnlijk niet veranderen. De meeste onzekerheid zit in het innovatieve ontwerpalternatief, omdat het energieverbruik hiervan dusdanig hoger dan de andere ontwerpalternatieven is dat een afwijking van 10-20% de beoordeling niet beïnvloedt. Daarnaast is het *gebruik van duurzame energie* beoordeeld. Er is aangenomen dat de energiemix voor de operatie niet verandert. Mocht dit in de toekomst wel gebeuren, dan zou de beoordeling opnieuw uitgevoerd kunnen worden. Het is mogelijk dat het innovatieve ontwerpalternatief een dubbele plus verdient, omdat het volledig op hernieuwbare energie (elektriciteit en warmte) kan draaien door middel van de verbranding van opgewekt syngas. De beoordeling op *terugwinning van energie* staat niet ter discussie, omdat alleen het innovatieve ontwerp energie terugwint en dit op significante schaal doet.

De beoordeling van *grondstoffen- en waterverbruik* staat deels ter discussie. Het alternatieve ontwerp vereist een aanzienlijke hoeveelheid materialen tijdens de bouwphase en in de gebruiksfase, zoals anti-scalants en vervangende membranen. Het innovatieve ontwerp staat in dit opzicht niet ter discussie. Het *gebruik van duurzame grondstoffen en water* staat wel ter discussie. Er is aangenomen dat de materialen van de ontwerpalternatieven uit dezelfde mix van nieuwe en teruggewonnen materialen worden gemaakt als in de bestaande situatie. Dit hoeft echter niet het geval te zijn en kan door een gerichte uitvraag naar de markt tijdens de bouw anders worden ingevuld. De hogere waardering van de innovatieve installatie ten opzichte van de alternatieve installatie (door het gebruik van C-hout) staat niet ter discussie. De beoordelingen van het *terugwinnen van grondstoffen en water* staan eveneens niet ter discussie, hoewel er enige onzekerheid bestaat over de toepassing van biochar als grondstof.

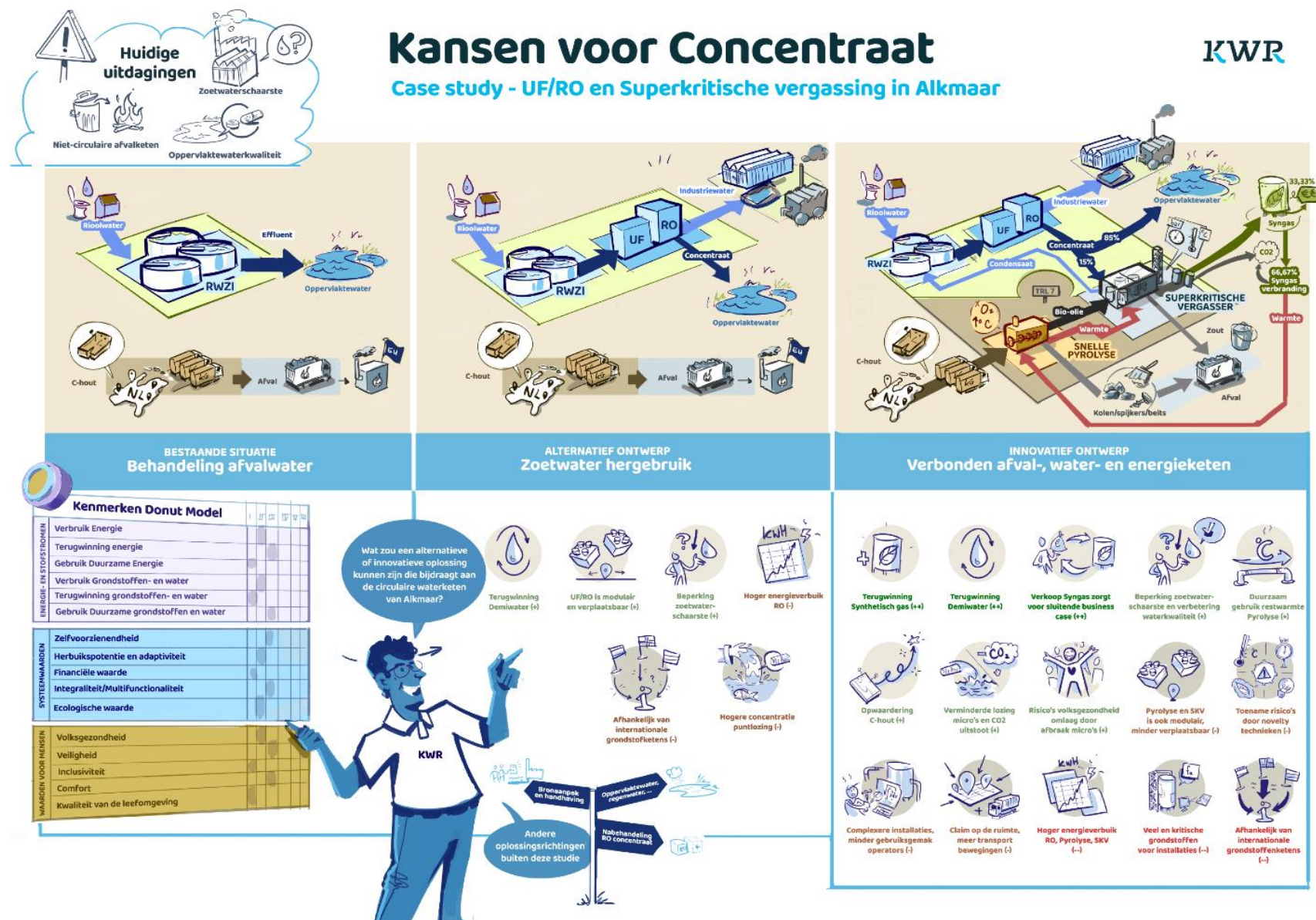
De *zelfvoorzienendheid* van beide ontwerpalternatieven staat niet ter discussie. De *hergebruikpotentie en adaptiviteit* van de installaties hangen echter af van de gebruikte materialen en technieken. Dit levert vooral onzekerheid op voor het innovatieve ontwerpalternatief, omdat hier nieuwe technieken worden gebruikt die mogelijk moeilijk hergebruikt kunnen worden. De *financiële waarde* van beide ontwerpalternatieven staat wel ter discussie. Het is onduidelijk of de kosten realistisch zijn en ook de waarde van stromen zoals warmte en RO-permeaat zijn slechts schattingen. Hier kunnen nog verbeteringen worden aangebracht.

Op het vlak van *integraliteit/multifunctionaliteit* is geen discussie gaande. De ecologische waarde staat wel ter discussie, met name vanwege de lozing van de geconcentreerde reststroom. Dit is negatief beoordeeld omdat het om een puntlozing gaat. Er is echter niet meegenomen dat er 1800 m³/u water van hoge kwaliteit wordt gewonnen, wat anders op een minder milieuvriendelijke manier zou moeten worden verkregen. Dit is ook niet meegenomen in het alternatieve ontwerpalternatief, dat positief is beoordeeld vanwege de verlaging van de milieubelasting door organische microverontreinigingen (die minimaal is).

Voor *volksgezondheid* staat de plus bij het innovatieve ontwerp ter discussie. De circa 15% afname in de totale milieubelasting is niet heel significant, en of dit daadwerkelijk impact heeft, valt te bezien. Merk op dat wanneer organische microverontreinigingen in (gezuiverd) afvalwater (die een significant op de natuur en milieu en daarmee indirect ook op de mens hebben) in geconcentreerde(re) vorm middels SKW-V behandeld zouden worden, het positieve effect op de volksgezondheid sterk kan toenemen. De *veiligheid* staat ook ter discussie, met name de min bij de superkritische water vergassing. Industriële installaties worden met ruime veiligheidsmarges gebouwd, en of

de toename in veiligheidsrisico's significant is, zou nader bekeken moeten worden. De *inclusiviteit* is niet besproken, hoewel het nut hiervan wel ter discussie staat. De nadelen van participatie van de bevolking zijn erkend door de stakeholders, maar de voordelen, zoals meer draagvlak tijdens de vergunningsprocedure, zijn niet meegenomen. Dit is een gemiste kans.

Wat betreft *comfort* is er discussie over hoe relevant het discomfort van het leren van nieuwe handelingen en technologieën door de operators van de installatie is voor het grotere geheel. Op het vlak van de *kwaliteit van de leefomgeving* wordt aanvullend opgemerkt dat het SKW-V proces an-sich een volledig gesloten systeem is zonder geur- en geluidsemisies.



Figuur 7 Visuele samenvatting resultaten maatschappelijke waarden analyse superkritisch vergassen.

3.6 Reflectie MIS en toekomstperspectief

Het missie-gedreven innovatie systeem model is gebruikt om de context rond de hoogtechnologische alternatieve en innovatieve ontwerpalternatief te duiden. Door de context te duiden is het mogelijk de bijdrage aan het missie-gedreven innovatie systeem bij te sturen en de positieve of negatieve bijdrage aan de circulaire economie in kaart te brengen. De context en de hoogtechnologische innovatie wordt geduid middels de factoren uit het missie-gedreven innovatie systeem die als belangrijk zijn aangeduid, dit zijn: richting geven aan het zoekproces, marktcreatie, tegen gaan van weerstand, druk zetten op het regime en coördinatie. Deze factoren zullen opeenvolgend worden geduid met bevindingen van de studie rond het Donut model voor de circulaire watersector.

Richting geven aan het zoekproces, gaat over de verwachtingen die van de technologie zijn gesteld. In dit geval wordt er van de technologie verwacht dat het bijdraagt aan de circulaire watersector. Voor het alternatieve ontwerp zijn er beperkte positieve bijdragen aan de circulaire water sector, er wordt zoetwater (demiwater) geproduceerd en zo bijgedragen aan het oplossen van zoetwaterschaarste, en een modulaire en verplaatsbare installatie neergezet. Anderzijds zijn de negatieve effecten op de circulaire watersector beperkt, er wordt meer energie verbruikt, afhankelijkheid van grondstoffen gecreëerd, en een hoge concentratie puntlozing gecreëerd.

Voor het innovatieve ontwerp wordt enerzijds voldaan aan het doel van de circulaire watersector, er wordt namelijk geïnnoveerd met de positieve bijdragen door de uitstoot van schadelijke stoffen en CO₂ naar het milieu te verminderen, synthetisch gas te winnen, geld te verdienen, restwarmte te produceren, het verwaarden van het restproduct C-hout, en de zoetwaterbeschikbaarheid te vergroten. Anderzijds zijn er significante negatieve bijdragen aan de circulaire economie van onder andere het hoge energieverbruik, het bouwen van niet herbruikbare installaties, risico's voor de omgeving, vermindert gebruiksgemak voor de operators, creëren van afhankelijkheid en het significante grondstoffen- en energieverbruik.

Gesteld kan worden dat een focus binnen het verdere innovatie traject op verminderen van deze negatieve aspecten bij kan dragen aan een betere bijdrage aan het missie-gedreven innovatie systeem.

Marktcreatie, is gericht op de inpassing van geproduceerde producten en diensten in de bestaande markt van (uitontwikkelde) producten. In het alternatieve ontwerp wordt als product gedemineraliseerd water geproduceerd, hier is nog geen afnemer voor, maar gezien zoetwaterschaarste in Nederland zal dit mogelijk zijn. Bij het vinden van afnemers zal het noodzakelijk zijn bijpassende infrastructuur aan te leggen. In het innovatieve ontwerp worden er meerdere producten gemaakt, waaronder gedemineraliseerd water, groen gas, biochar en warmte. Voor deze producten is ook nog geen afnemer gevonden en hier zal veel aandacht aan besteed dienen te worden, gezien de grote stromen maar ook de (dure) nog aan te leggen infrastructuur.

Tegen gaan van weerstand, veel vernieuwingen gaan gepaard met weerstand, deels door commerciële belangen en deels door het comfort van bekende systemen en technologieën. In het alternatieve ontwerp wordt gedemineraliseerd water geproduceerd uit afvalwater; het gebruik van afvalwater brengt voor gebruikers een risico met zich mee. Dit risico verdient aandacht en kan hierdoor verkleint worden. In het innovatieve ontwerp geldt dit discomfort ook en dient het ook aandacht te krijgen. In het innovatieve ontwerp wordt er ook C-hout ingenomen (welk anders werd geëxporteerd), en worden er risico's met nieuwe nog niet uitontwikkelde technologie genomen. Naast het risico van de nog niet uitontwikkelde technologie worden er ook nieuwe producten zoals syngas en warmte geproduceerd, waar nog een afnemer voor dient te worden gevonden.

Druk zetten op het huidige regime draait om het tegen gaan van gewoonten, regelgeving, subsidies en andere acties die het huidige regime in stand houden. Dit is niet expliciet bestudeerd in het project maar in het geval van het alternatieve ontwerp gaat het hier bijvoorbeeld om de mogelijkheid om RWZI effluent te lozen zonder hergebruik

verplichting, of het verbod op direct hergebruik van RWZI effluent als bron voor drinkwater productie [1]. Voor het innovatieve ontwerp geldt ook dat het toegestaan is om C-hout te exporteren, en er beperkte mogelijkheden zijn tot het financieren van de aanleg van een warmtenet. Door de regelgeving en doelbewust invloed uit te oefenen op gedrag van consumenten en bedrijven kan er meer gedaan worden om de innovatie te ondersteunen.

Coördinatie, het afstemmen tussen verschillende technologie paden leidt tot een versnelling van innovatie en het bereiken van het doel van het missie-gedreven innovatiesysteem. Dit is niet expliciet bestudeerd in het project, maar voor het alternatieve ontwerp geldt bijvoorbeeld dat het hergebruik van effluent ter productie van gedemineraliseerd water moet worden gecoördineerd met hergebruik voor natuurherstel. Aanvullend hierop geldt voor het innovatieve ontwerp bijvoorbeeld dat C-hout niet voor andere doeleinden kan worden gebruikt, en dat de restwarmte voor een circulaire toepassing word gebruikt en niet om de lineaire economie te stimuleren.

De besproken factoren van het missie-gedreven innovatiesystemen laten een genuanceerd beeld zien van kansen en beperkingen van de technologie. Deze kunnen verder opgepakt worden in de doorontwikkeling van de technologieën.

3.7 Conclusie

Op basis van de circulaire analyse en de discussies die gevoerd zijn in de reflectiesessies en co-creatieve sessies kan toegewerkt worden naar het antwoord op vraag:

In hoeverre draagt het toepassen van de technologie-combinatie RO en superkritische water vergassing bij aan het inrichten van een lokale circulaire waterketen in de regio Alkmaar?

Op basis van de circulaire analyse kan beoordeeld worden dat het toepassen van de technologie-combinatie RO en superkritische water vergassing bijdraagt aan de circulaire water- en afvalketen, maar ook druk legt op deze circulaire water- en afvalketen. Dit geldt ook voor de toepassing van UF/RO zonder superkritische water vergassing, maar in mindere mate.

In het alternatieve scenario, zijnde de productie van gedemineraliseerd water uit RWZI effluent, vinden er weinig veranderingen plaats in de (afval)waterketen en wordt er een extra stap toegevoegd aan de zuivering. Uit de circulaire analyse blijkt dat er door het in gebruik nemen van UF/RO bij RWZI's (alternatieve scenario) een hoog percentage demi-water kan worden teruggewonnen, waardoor zoetwaterschaarste in de regio kan worden beperkt. Hier staat tegenover dat het plaatsen van de installaties wel zorgt voor hoger energieverbruik en dat de afhankelijkheid van internationale grondstofketens toeneemt – de materialen voor de UF/RO installaties moeten worden geïmporteerd. Daarnaast draagt het plaatsen van UF/RO naar verwachting niet bij aan verbeteren van de geïdentificeerde uitdaging van waterkwaliteit. Door de scheiding van de bestaande waterstroom wordt namelijk een geconcentreerde reststroom met hogere concentratie aan stoffen (organische micro's en verontreinigen) als 'puntlozing' geloozd op het oppervlaktewater. In het geval het gaat om kwetsbaar oppervlaktewater, kan dit consequenties hebben voor de chemische en ecologische waterkwaliteit.

Voor het innovatieve ontwerp zijnde de productie van gedemineraliseerd water uit RWZI effluent en superkritische water vergassing op de geconcentreerde reststroom geldt dat er meer ingrijpende veranderingen plaatsvinden in de (afval)waterketen en is er sprake van verknoping van de lokale (afval)water-, afval- én energieketen. Dit betekent in feite dat er een nieuw innovatiesysteem ontstaat in de regio, waarbij stakeholders uit verschillende sectoren worden verbonden in een nieuwe keten, maar ook dat bestaande business komt te vervallen – zoals de export van c-hout

naar het buitenland. In dit onderzoek is niet verkend in hoeverre verschillende stakeholders in de regio belangstelling hebben voor deze innovatie. Ook is nog niet onderzocht in hoeverre verschillende sleutelfactoren, zoals geïdentificeerd in de literatuur over missie-gedreven innovatiesystemen, spelen in de regio. Naar verwachting:

1. is het nodig om de markt te stimuleren en institutionele kaders af te stemmen op de nieuwe innovaties (*Marktcreatie*)
2. moeten er meer middelen worden gemobiliseerd
3. zal er ook weerstand zijn ten aanzien van het in gebruik nemen van de nieuwe technologie en ook is wet- en regelgeving nog niet afgestemd op de nieuwe innovatie
4. Er zal ook 'druk moeten komen op het huidige regime' en de bestaande praktijken, indien het als wenselijk en haalbaar wordt gezien om de toepassing van RO en superkritische water vergassing te realiseren.

Uit de circulaire analyse blijkt dat er veel positieve en ook negatieve impact ontstaat door de toepassing van RO en superkritische water vergassing. Er wordt bijgedragen aan de lokale en circulaire keten door o.a. de terugwinning van demi-water, zorgt net als in het alternatieve ontwerp voor, een beperking van zoetwater schaarste. Daarnaast wordt er met dit innovatief ontwerp ook synthetisch gas teruggewonnen dat enerzijds zorgt voor duurzamer gasgebruik en door de verkoop ook zorgt voor een sluitende business case. Daarbij wordt c-hout meer circulair verwerkt en opgewaardeerd dan in het geval van verbranding (bestaande situatie en alternatief ontwerp) en door pyrolyse kan ook duurzame warmte worden teruggewonnen. Doordat circa 15% van de geconcentreerde reststroom kan worden verwerkt in de superkritische vergasser, worden organische micro's afgebroken die niet in het oppervlaktewater terechtkomen. De risico's voor de volksgezondheid nemen daardoor af, al dan niet in beperkte mate.

Toepassing van RO en superkritische water vergassing legt daarnaast ook druk op de circulaire keten. Er wordt in verhouding veel energie verbruikt en ook veel grondstoffen en kritische materialen door de productie en in gebruik name van alle nieuwe installaties. De afhankelijkheid van internationale grondstoffenketens neemt hierdoor in hoge mate toe. Door het innovatieve ontwerp wordt ook een claim op de ruimte gelegd door een lokale toename van transportbewegingen van C-hout. Door de installatie van nieuwe en complexere installaties is ook sprake van minder gebruiksgemak voor operators en nemen risico's op explosiegevaar toe. Tot slot zijn de installaties wel modulair te noemen, maar niet echt verplaatsbaar.

Geconcludeerd kan worden dat het innovatieve ontwerp zijnde het toepassen van RO en Superkritische water vergassing op dit moment nog geen positief perspectief heeft binnen de circulaire watersector. Mogelijk is perspectief positief bij het verder op concentreren van de organische vervuiling in de geconcentreerde reststroom, maar dit valt buiten de scope van dit project.

Vervolgonderzoek is nodig om te bepalen in hoeverre *het innovatieve ontwerp RO en superkritische water vergassing perspectief biedt voor circulaire afval, (afval)water- en energieketen in Alkmaar*. Er is nog geen zicht op de behoefte en belangen van alle stakeholders die een rol hebben in het nieuwe innovatiesysteem en ook kan verder verkend worden in hoeverre de negatieve consequenties van het alternatieve ontwerp opwegen tegen de positieve impact. Met dit onderzoek is een waardevolle stap gezet door betekenis te geven aan de toepassing van de innovatie technologie-combinatie in de praktijk, maar er zullen ook andere oplossingsrichtingen onderzocht moeten worden om te bepalen of dit innovatieve ontwerp de grootste bijdragen leveren aan lokale circulaire ketens en het oplossen van huidige uitdagingen van zoetwaterschaarste, niet-circulaire afvalwaterketens en lage waterkwaliteit.

4 Hoge-recovery RO en Zero Liquid Discharge

4.1 Toepassing RO en Zero Liquid Discharge: opwerking van brak grondwater in de glastuinbouw

Voor de maatschappelijke waardenanalyse van de toepassing van omgekeerde osmosetechnologie met Zero Liquid Discharge is gekozen om een analyse uit te voeren voor de toepassing van RO (Reversed Osmose) en Zero Liquid Discharge (ZLD) in de glastuinbouw. De glastuinbouw is een sector waarin RO momenteel al veelvuldig wordt toegepast voor de productie van (aanvullend) gietwater [23]. Landelijk (met een grotere concentratie in Zuid-Holland) wordt deze techniek toegepast om brak (en soms zelfs zoet) grondwater te ontzouten. In andere gebieden wordt soms ook drinkwater of oppervlaktewater (vooral bij grondteelten) gebruikt om gietwater aan te vullen, maar in Zuid-Holland is RO water een belangrijk en essentieel onderdeel van de gietwatervoorziening. Met de analyses is verkend

1. Wat het in de praktijk betekent om de technologie-combinatie RO en ZLD toe te passen bij één glastuinbouwbedrijf in De Lier (paragraaf 4.2 en 4.3)
2. In hoeverre het toepassen van de technologie-combinatie Reversed Osmose (RO) en Zero Liquid Discharge (ZLD) meer of minder circulair is dan andere oplossingen voor het benutten van brak grondwater als aanvullende bron voor gietwater in de glastuinbouw (paragraaf 4.4 t/m 4.7)

De totale gietwaterbehoefte in het Westland ligt volgens schattingen tussen de 13,7 en 17,7 miljoen m³ per jaar (rapportage Toekomstplan Gietwater Glastuinbouw, 2022). Het grootste deel van deze behoefte wordt vervuld door hemelwater dat wordt opgevangen in waterbassins, maar in tijden van droogte wordt gietwater geproduceerd op basis van brak grondwater dat wordt opgewerkt met een RO-installatie. Het RO water heeft een vergelijkbare kwaliteit als regenwater omdat het weinig natrium bevat en voldoet daarmee aan de norm 'goed gietwater'. De omvang van het gebruik van RO water in de glastuinbouw is niet volledig bekend, vooral omdat de registratie van onttrekkingen, lozingen en infiltraties gefragmenteerd is. Er wordt niet altijd een melding gemaakt van een onttrekking – pas bij een onttrekking groter dan 50 m³/uur dient een vergunning te worden aangevraagd [24] – en de informatie ligt verspreid bij waterschappen, gemeenten en provincies. De productie van RO water is relatief goedkoop, toegankelijk en redelijk eenvoudig in gebruik. Dat maakt de toepassing van RO interessant voor ondernemers in de glastuinbouw.

Het gebruik van RO water brengt negatieve gevolgen met zich mee in de regio. Uit onderzoek blijkt dat de grondwateronttrekkingen en het gebruik van RO plaatselijk leidt tot versnelling van de bodemdaling door grondwateronttrekking en kans op verzilting door diepte-infiltratie van de geconcentreerde reststroom (ook wel brijn genoemd) e.e.a. afhankelijk van de kwaliteit van het grondwater in het ontvangende (tweede) watervoerende pakket en de dichtheid van de scheidende laag tussen eerste en tweede watervoerende pakket. Daarnaast zijn er ook juridische uitdagingen ten aanzien van de diepte-infiltratie. De afgelopen tien jaar is er op basis van landelijk regelgeving maatwerk verleend voor de infiltratie, maar onder de Omgevingswet moeten provincies en gemeente beleid formuleren met voorwaarden waaronder maatwerk kan worden verleend.

De vraag die beantwoord wordt in dit hoofdstuk is:

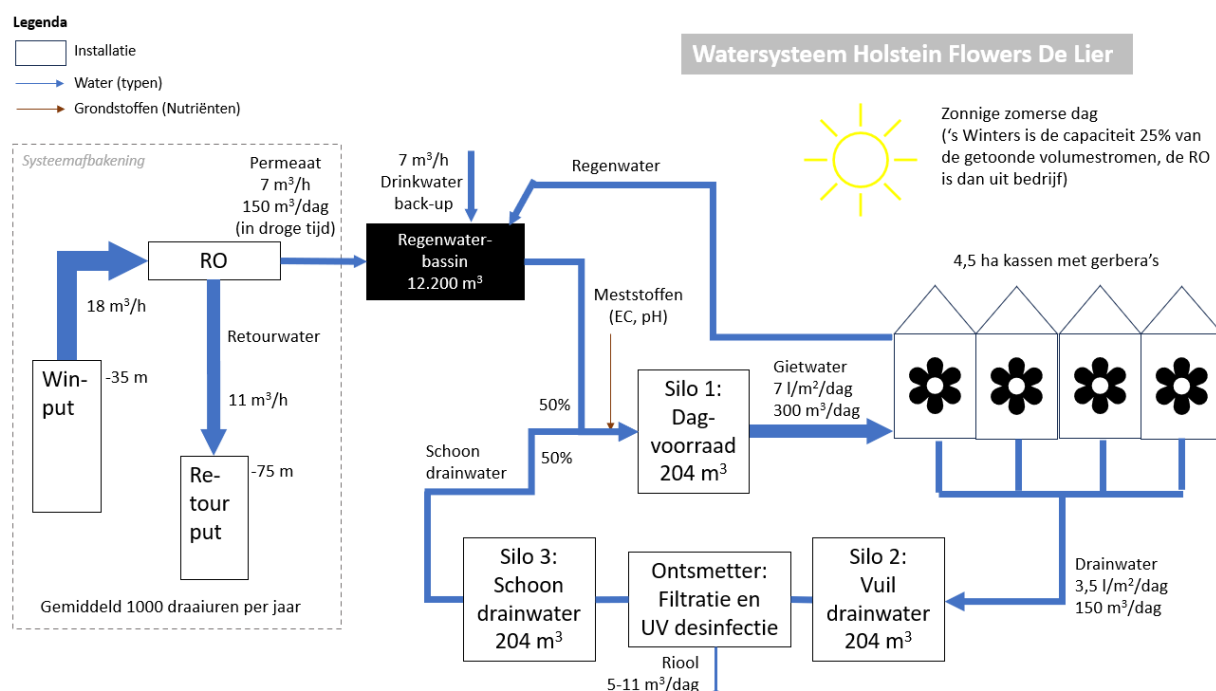
In hoeverre draagt het toepassen van de technologie-combinatie RO en ZLD bij aan het inrichten van een lokale circulaire waterketen in het Westland/Waterschap Delfland?

4.2 Case studie: toepassing van RO en ZLD bij glastuinbouwer Holstein Flowers

Om te bepalen wat de toepassing van RO en Zero Liquid Discharge zou kunnen betekenen voor de circulaire waterketen van het Westland is een analyse uitgewerkt op basis van de bestaande situatie van één tuinder, namelijk glastuinbouwer Holstein Flowers (kwekerij Futura). Hoewel er grote verschillen (kunnen) zijn ten aanzien van bedrijfsactiviteiten en kenmerken van glastuinbouwers is het uitvoeren van de analyse voor deze case nuttig, omdat het ook inzichten oplevert die bruikbaar zijn voor andere tuinders. In deze paragraaf is uitgewerkt hoe tot een systeemafbakening is gekomen en welke uitgangspunten leidend zijn geweest voor de analyse. In de volgende paragraaf zijn op basis van deze uitgangspunten drie ontwerpalternatieven uitgewerkt voor het gebruik van RO voor het opwerken van brak grondwater naar gietwater.

Glastuinbouwer Holstein Flowers

Holstein Flowers is een gerbera kwekerij en veredelaar met twee vestigingen in De Lier. In deze studie zal de Holstein locatie 'Futura' aan de Laan van Adrichem in De Lier in ogenschouw worden genomen. Hart van het bedrijf op deze locatie is een modern kassencomplex van 4,5 ha, waarin de gerbera's gekweekt worden. Water en substraat ontvangen de planten via een druppelsysteem, waarbij elke plant/pot voorzien is van een eigen druppelaar. De plant neemt circa 50% van het water op, de overige 50% wordt als "vuil drainwater" afgevoerd en na opslag en behandeling hergebruikt als gietwater. Ook het condenswater van het kasdek wordt verzameld en aan het vuile drainwater toegevoegd. Het gietwater bestaat voor 50% met filtratie en UV desinfectie behandelde drainwater, de overige 50% wordt geleverd vanuit het regenwaterbassin. Het regenwaterbassin wordt gevuld met regenwater dat op de kassen valt. Een groot deel van het jaar is er voldoende regen, tijdens voorjaar en zomer kan de droge periode te lang zijn, waardoor het bassin leeg dreigt te raken en bijgevoerd wordt met gezuiverd brak grondwater. Het brakke grondwater wordt in een RO ontdaan van zout, waarbij ruim 60% van het gewonnen brakke grondwater als retourwater (geconcentreerde reststroom die nagenoeg alle zouten bevat) teruggebracht wordt in de bodem. Indien er in de droge periode problemen zijn met de RO, kan worden teruggefallen op een back-up drinkwateraansluiting, die aan het regenwaterbassin kan leveren. In Figuur 8 is het systeem weergegeven, inclusief de volumestromen op een zonnige zomerse dag.



Figuur 8 Het watersysteem inclusief RO installatie in Holstein Flowers (Kwekerij Futura) De Lier

Naast met een watersysteem is het bedrijf ook uitgerust met een energiesysteem, bestaande uit een WKK (warmte kracht koppeling), die zorg draagt voor elektriciteit, warmte en CO₂ gas. Elektriciteit wordt in de kas gebruikt of geleverd aan het net, warmte gaat naar de kas en kan tijdelijk opgeslagen worden in een warmte buffer en CO₂ gas stroomt de kas in als bouwstof voor de bloemen. Dit systeem zal niet in detail meegenomen worden, maar mogelijk kan een deel van de (rest)warmte gebruikt worden bij het verdampen van de geconcentreerde reststroom in het zero liquid discharge ontwerp.

Algemene uitgangspunten voor de case Holstein Flowers

Algemene kenmerken:

- Locatie casestudy: Gerbera kweker Holstein Flowers, De Lier (4,5ha kassen);
- Voeding is brak grondwater met 4,0 g/l zout (2014 mg/l Cl), op een diepte van 35 m gewonnen met een winput;
- Zomers vindt gietwater suppletie plaats, waarbij jaarlijks gemiddeld 10% van de benodigde 6.000 m³/ha/jaar door de RO geleverd zal worden. Jaarlijks zal de RO dus gemiddeld 600 m³/ha x 4,5 ha = 2.700 m³ RO permeaat leveren. Suppletie van behandeld brak grondwater vindt gemiddeld 1000 uur per jaar plaats;
- RO permeaat wordt in regenwaterbassin bijgemengd (pas als dat bassin dreigt leeg te raken gaat de RO in bedrijf, bij voorkeur zo min mogelijk uren per jaar);
- De bij RO behandeling vrijkomende geconcentreerde reststroom bevat nagenoeg alle zouten (met natrium in overmaat) die in het voedingswater aanwezig zijn;
- Als back up bij uitval van de RO is een 7 m³/h drinkwateraansluiting aanwezig
- De waterstromen zijn per kalenderjaar berekend, waarbij het gemiddelde van de 2020, 2021 en 2022 genomen is
- De technische levensduur van de ontwerpen is 20 jaar omdat dat aansluit bij de levensduur van de kas. Als de kas vervangen wordt, wordt doorgaans ook de water technische installatie vervangen;
- Een deel van de energiebehoefte (elektriciteit en/of warmte) kan verzorgd worden door de WKK.
- In de tuinbouwwereld is het niet gangbaar om een Energy Recovery Device te installeren voor energie terugwinning uit de druk van de geconcentreerde reststroom. De terugverdientijd van deze investering is te lang (10-15 jaar).

4.3 Ontwerpalternatieven voor het gebruik van RO voor het opwerken van brak grondwater naar gietwater

In deze studie zijn drie ontwerpalternatieven vormgegeven voor het gebruik van RO voor het opwerken van brak grondwater naar gietwater. Er is een

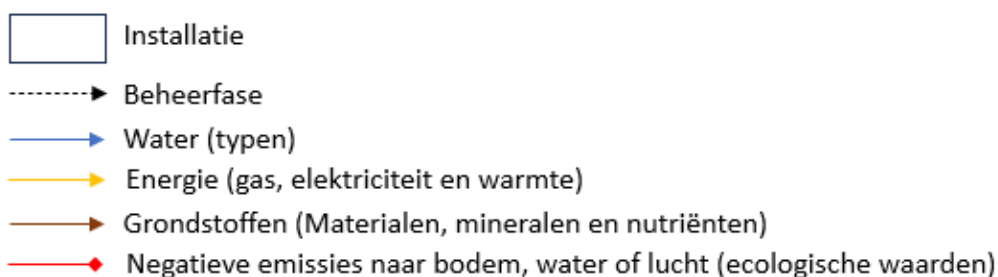
- 1) Een ontwerpalternatief vormgegeven voor de *bestaande situatie*, waarbij de geconcentreerde reststroom wordt geïnjecteerd in de bodem (paragraaf 4.3.1)
- 2) Een *alternatief* ontwerpalternatief vormgegeven waarbij de geconcentreerde reststroom wordt geloosd op zee (paragraaf 4.3.2)
- 3) Een *innovatief* ontwerpalternatief vormgegeven waarbij de geconcentreerde reststroom wordt opgewerkt met behulp van Zero Liquid Discharge (paragraaf 4.3.3).

Voor alle drie de ontwerpalternatieven is in de onderstaande paragrafen

- een stroomschema uitgetekend met daarin de installaties en stofstromen die onderdeel zijn van het technische ontwerp. In het stroomschema is ook opgenomen welke negatieve emissies het ontwerp/systeem met zich meebrengt. Het gaat om stofstromen en emissies die tijdens de operatie en het beheer van het systeem nodig zijn (zie legenda in Figuur 9).
- aangegeven welke uitgangspunten en aannames onderliggend zijn aan de ontwerpalternatieven.

Het stroomschema en de uitgangspunten vormen samen de *systeemafbakening* voor elk ontwerpalternatief. Dit ontwerpalternatief is gebaseerd op de bestaande praktijksituatie van de tuinder Holstein Flowers en op basis van deze afbakening zijn vervolgens – voor elk ontwerpalternatief – berekeningen gemaakt en informatie verzameld over de 16 kenmerken uit het Donut Model. In bijlage III is de overzichtstabel van de informatieverzameling terug te vinden. In paragraaf 4.4 zijn de resultaten van de vergelijkende analyse beschrijven.

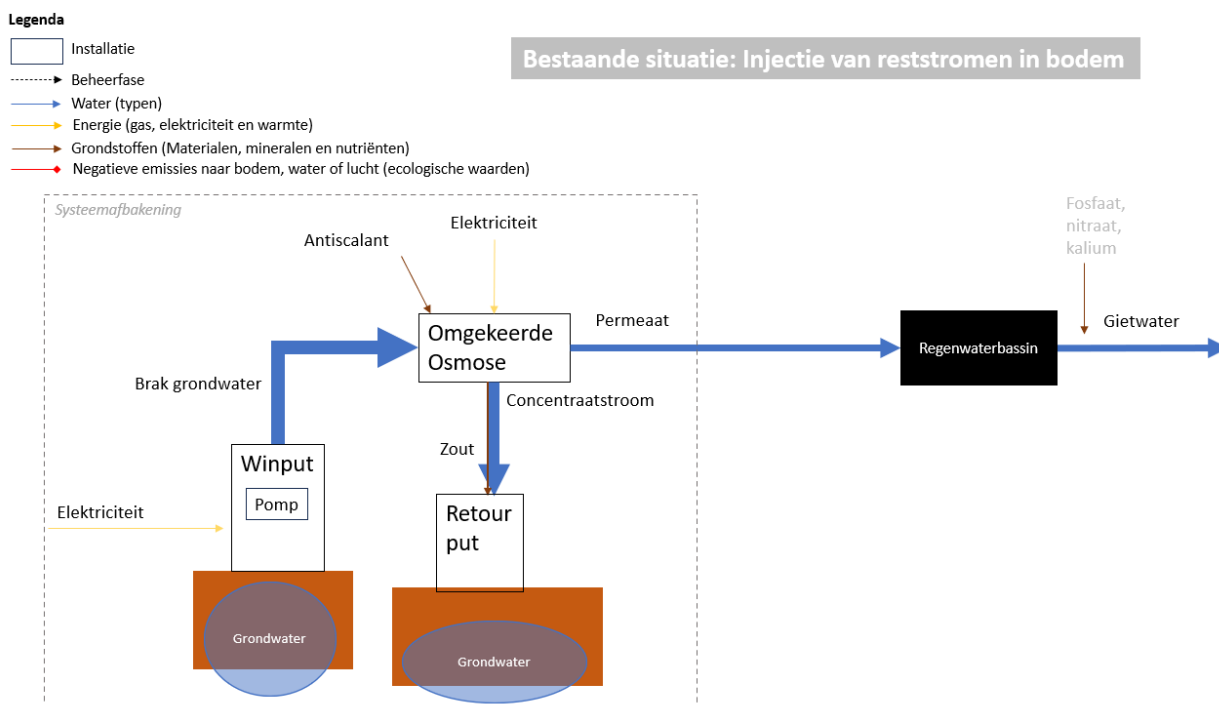
Legenda



Figuur 9. Legenda van het stroomschema dat voor elk ontwerpalternatief is uitgewerkt. Dit stroomschema is gebaseerd op de stofstromen (Water, Energie en Grondstoffen) en geeft inzicht in de negatieve emissies naar bodem, water en lucht (ecologische waarden). Deze onderdelen zijn kenmerken van het Donut Model voor de Circulaire Waterketen

4.3.1 Ontwerpalternatief bestaande situatie: injectie van reststromen in de bodem

De essentie van dit ontwerp is dat de reststromen afkomstig uit de RO worden geïnjecteerd in de bodem. Dit scenario komt het meest voor in het Westland [23], [25]. In het stroomschema (zie Figuur 10) is te zien welke technische installaties, stofstromen en negatieve emissies in dit ontwerpalternatief voorkomen. Vervolgens wordt uitgelegd hoe het systeem is afgebakend en welke uitgangspunten zijn uitgewerkt voor dit scenario, op basis van de praktijksituatie bij Holstein Flowers.



Figuur 10 Stroomschema ontwerpalternatief 'Injectie van reststromen in de bodem'

Systeemafbakening ontwerpalternatief Injectie van reststromen in de bodem

Installaties en beheer

De basis van dit ontwerpalternatief is hetzelfde als de andere twee ontwerpalternatieven: grondwater wordt namelijk in dit ontwerp gewonnen vanuit een grondwaterwininput voorzien van een onderwaterpomp. Vervolgens wordt het grondwater middels Omgekeerde Osmose (Reversed Osmoses, RO) verwerkt tot RO water (permeaat). Het permeaat gaat vervolgens direct naar het regenwaterbassin – met behulp van de druk van de RO installatie. De zoute geconcentreerde reststroom wordt vervolgens geïnjecteerd in de bodem via een put.

Stofstromen

In dit ontwerpalternatief worden vier waterstromen onderscheiden, namelijk brak grondwater, de geconcentreerde reststroom en RO permeaat dat wordt opgewerkt tot gietwater.

Er zijn ook enkele energiestromen zichtbaar in dit ontwerpalternatief. Het gaat voornamelijk om elektriciteit. Voor het transport van het grondwater naar de RO en voor de hogedrukpompen in de RO zelf. De energiebehoefte van de doseerpomp wordt verwaarloosd.

Er is één grondstofstroom te onderscheiden in dit ontwerpalternatief. Anti-scalant wordt gebruikt om vervuiling van de membranen te voorkomen. De geconcentreerde reststroom bevat water en zout.

Er is een negatieve emissie naar bodem, water en/of lucht, dit is de zout fractie van de geconcentreerde reststroom. De verhoogde zoutconcentratie leidt mogelijk tot verzilting van de ondergrond.

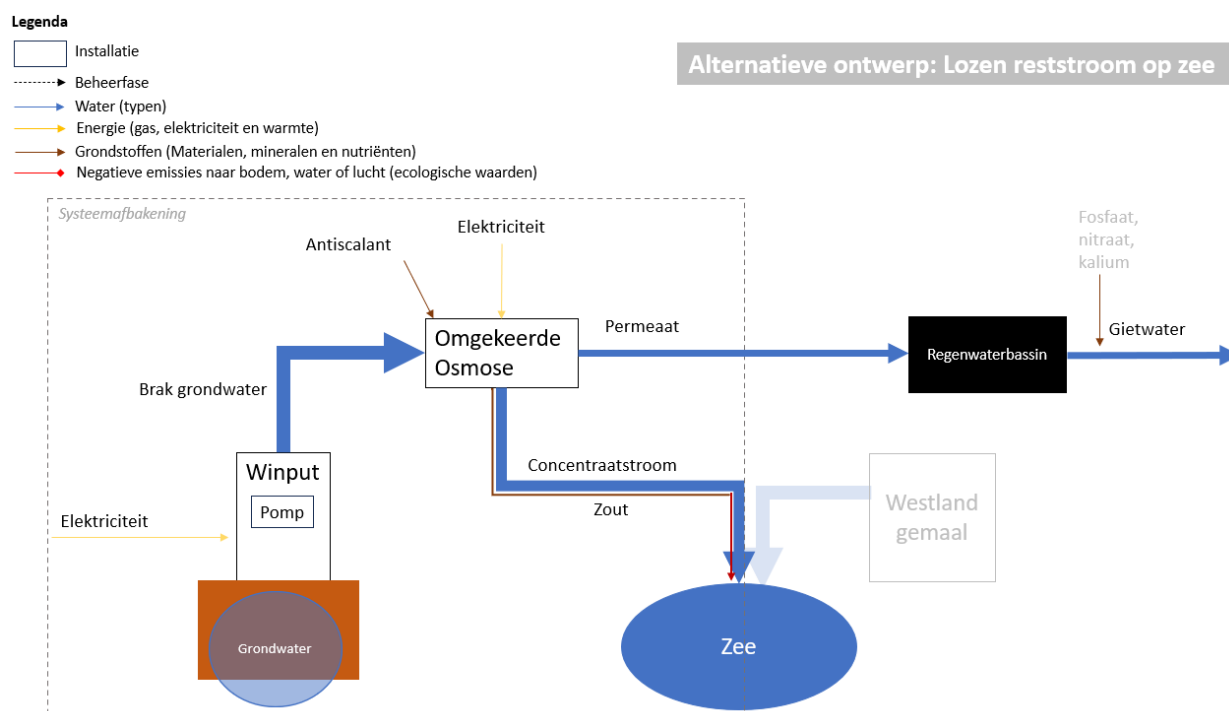
Uitgangspunten ontwerpalternatief

Voor het verzamelen van de gegevens voor dit ontwerpalternatief zijn de volgende uitgangspunten geformuleerd:

- De retourput bevindt zich op 75 m diepte;
- Regeneratie van de win en retourput is niet nodig;
- De RO heeft een voeding van 18 m³/h en produceert daaruit 7 m³/h permeaat (recovery 39 %);
- De membraanflux is 23,5 l/m².h en de voedingsdruk 13,5 Bar;
- De vrijkomende geconcentreerde reststroom heeft een volumestroom van 11 m³/h en wordt op 75 m diepte geïnjecteerd in de bodem;
- Ter voorkoming van vervuiling van de membranen in de RO (scaling) wordt anti-scalant gedoseerd aan het voedingswater van de RO. De anti-scalant blijft achter in de geconcentreerde reststroom en gaat via de retourput in de bodem;
- Periodieke reiniging van de membranen met zuur en/of loog is dankzij de discontinue inzet niet nodig, ze worden om de 4 jaar vervangen.

4.3.2 Alternatief ontwerpalternatief: Lozen reststroom op zee

De essentie van dit ontwerp is dat de reststromen afkomstig uit de RO worden geloosd op zee. Dit scenario komt niet voor bij tuinders in het Westland, maar bijvoorbeeld wel bij het lozen van geconcentreerde reststromen van industriewater zuiveringen. In het stroomschema (Figuur 11) is te zien welke technische installaties, stofstromen en negatieve emissies in dit ontwerpalternatief voorkomen. Vervolgens wordt uitgelegd hoe het systeem is afgebakend en welke uitgangspunten zijn uitgewerkt voor dit scenario, op basis van de praktijksituatie in Holstein Flowers.



Figuur 11 Stroomschema ontwerpalternatief Lozen reststroom op zee

Systeemafbakening ontwerpalternatief Lozen reststroom op zee

Installaties en beheer

De basis van dit ontwerpalternatief is hetzelfde als de andere twee ontwerpalternatieven: grondwater wordt namelijk in dit ontwerp gewonnen vanuit een grondwaterwinput voorzien van een onderwaterpomp. Vervolgens wordt het grondwater middels Omgekeerde Osmose (Reversed Osmoses, RO) verwerkt tot RO water (permeaat). Het permeaat gaat vervolgens direct naar het regenwaterbassin – met behulp van de druk van de RO installatie. De zoute geconcentreerde reststroom wordt vervolgens via een leiding getransporteerd naar zee.

Stofstromen

In dit ontwerpalternatief worden vier waterstromen onderscheiden, namelijk brak grondwater, de geconcentreerde reststroom en RO permeaat dat wordt opgewerkt tot gietwater.

Er zijn ook enkele energiestromen zichtbaar in dit ontwerpalternatief. Het gaat voornamelijk om elektriciteit. Voor het transport van het grondwater naar de RO, voor de hogedrukpompen in de RO zelf. De afvoer van de geconcentreerde reststroom naar zee, geschiedt met de restdruk van de geconcentreerde reststroom. De energiebehoefte van de doseerpomp wordt verwaarloosd.

Er is één grondstofstroom te onderscheiden in dit ontwerpalternatief. Anti-scalant wordt gebruikt om vervuiling van de membranen te voorkomen. Ook wordt anti-scalant gebruikt om dit schoon te houden. De geconcentreerde reststroom bevat water en zout.

Er is een negatieve emissie naar bodem, water en/of lucht, dit is de zout fractie van de geconcentreerde reststroom. De verhoogde zoutconcentratie is een potentieel ecosysteem versturende stroom.

Uitgangspunten ontwerpalternatief Lozen op zee

Voor het verzamelen van de gegevens voor dit ontwerpalternatief zijn de volgende uitgangspunten geformuleerd:

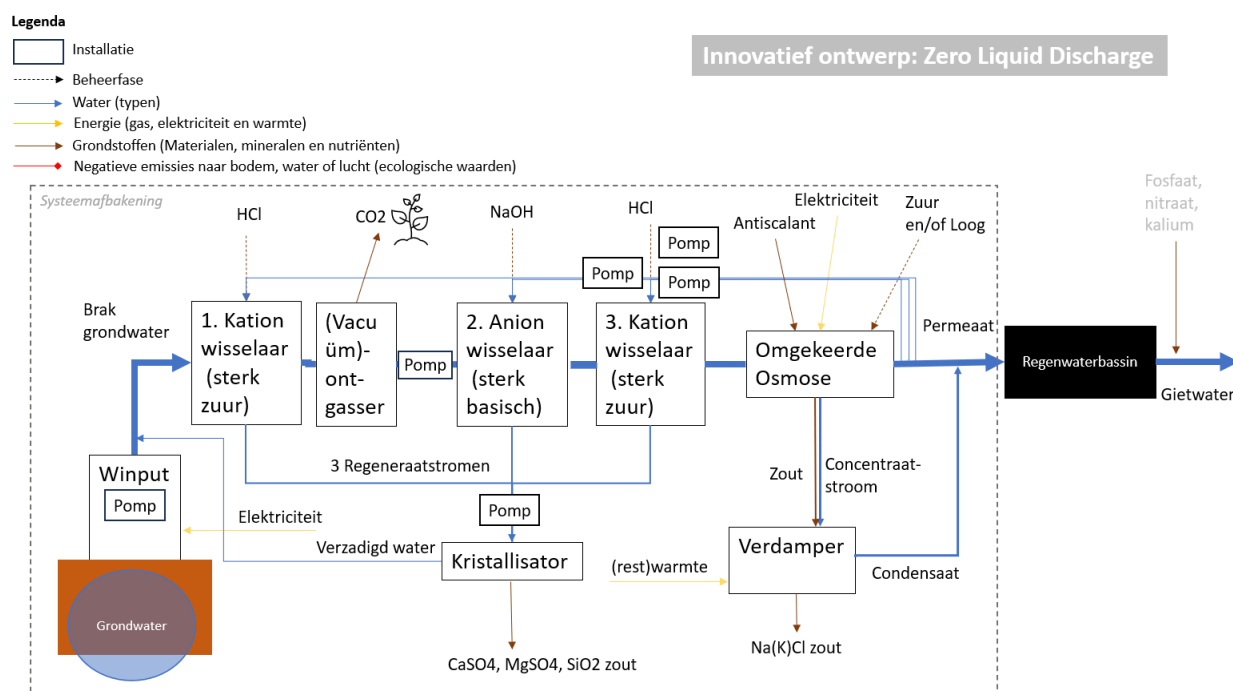
- De RO heeft een voeding van 18 m³/h en produceert daaruit 7 m³/h permeaat (recovery 39 %);

- De membraanflux is 23,5 l/m².h en de voedingsdruk 13,5 Bar;
- De vrijkomende geconcentreerde reststroom heeft een volumestroom van 11 m³/h en wordt naar zee afgevoerd;
- Ter voorkoming van vervuiling van de membranen in de RO (scaling) wordt anti-scalant gedoseerd aan het voedingswater van de RO. De anti-scalant blijft achter in de geconcentreerde reststroom;
- Periodieke reiniging van de membranen met zuur en/of loog is dankzij de discontinue inzet niet nodig, ze worden om de 4 jaar vervangen;
- Leiding van 7 km met diameter van 80 mm (11 m³/h, <1 m/s) naar de Nieuwe Waterweg;
- De geconcentreerde reststromen wordt aan het uitgeslagen water van het Westland gemaal toegevoegd en geloosd op de Nieuwe Waterweg. Hierdoor hoeft geen complexe dijkdoorvoer te worden gerealiseerd, maar je hebt wel leidingwerk nodig om er te komen;
- Het leggen van een verzamelleiding voor meer gebruikers heeft economisch grote voordelen;
- Een deel van de resterende druk op de geconcentreerde reststroom zal gebruikt worden voor het transport van de geconcentreerde reststroom naar zee, hierdoor hoeft geen aparte pomp te worden geïnstalleerd.

4.3.3 Innovatief ontwerpalternatief: Zero liquid discharge

De essentie van het toepassen van Zero Liquid Discharge is dat de geconcentreerde reststroom wordt behandeld op een manier waardoor er water en zout kan worden teruggewonnen. In het innovatieve zero liquid discharge ontwerp wordt de RO installatie op een andere wijze ingezet en de geconcentreerde reststroom behandeld. Het voedingswater van de RO wordt in ionenwisselaars (IEX) eerst ontdaan van de kationen (met name calcium en magnesium) en anionen (sulfaat, waterstofcarbonaat), maar ook SiO₂ alvorens te worden behandeld in de RO. Doordat 2 waardige ionen afwezig zijn, is de kans op oververzadiging van scaling vormende zouten lager (zoals kalk, gips, calciumfluoride, bariumsulfaat). Hierdoor kan de RO op een hogere recovery opereren, waardoor de geconcentreerde reststroom aanzienlijk kleiner wordt. De geconcentreerde reststroom wordt met een flashverdampster ingedampt, waarbij demi water en een zuivere vaste NaCl reststroom vrijkomt. De IEX moet regelmatig geregenereerd worden met HCl en NaOH, om de uit het bronwater verwijderde ionen uit te wisselen. In een kristallisator worden de CaSO₄ en MgSO₄ zouten uit de 3 samengevoegde IEX regeneraatstromen neergeslagen en het overblijvende nog wel verzadigde water gaat naar de voeding van de ionenwisselaars, zodat dit water niet verloren gaat.

Scalingzouten zijn grotendeels verwijderd, maar door de extreem hogere recovery blijft de kans op scaling (afzetting van silicaat in dit geval) groot. Daarom zal de reinigingsfrequentie van de RO (CIP = Clean In Place) hoger liggen. Het CO₂ gas dat verwijderd wordt in de (vacuüm)ontgasser kan als grondstof dienen bij de groei van de gerbera's, indien geen schadelijke stoffen voor het gewas in de gasstroom aanwezig zijn. De zuiveringstrein voorafgaand aan de RO moet strikt anaeroob gehouden worden, om oxidatie van ijzer (uitvlokking) te voorkomen.



Figuur 12 Stroomschema ontwerpalternatief Zero liquid discharge

Systeemafbakening ontwerpalternatief Zero liquid discharge

Installaties en beheer

De basis van dit ontwerpalternatief is in principe gelijk aan de andere twee ontwerpalternatieven: grondwater wordt gewonnen vanuit een grondwaterwinput voorzien van een onderwaterpomp. Omdat al het gewonnen brakke grondwater verwerkt wordt tot gietwater, behoeft de winput wel minder water te winnen.

Het voedingswater van de RO wordt voorbehandeld met een kation wisselaar, (vacuum)ontgasser, een anionwisselaar en nog een kationwisselaar. De ionenwisselaars worden periodiek geregenereerd met HCl en NaOH. Het regeneraat wordt verzameld en behandeld in een kristallisator, waarin de oververzadigde zouten zullen neerslaan. Het effluentwater van de kristallisator wordt gemengd met het brakke grondwater en aan de ionenwisselaars aangeboden.

De RO zal op een zo hoog mogelijke recovery opereren, omdat een kleinere voedingsstroom van de flashverdamper bespaart op verwarmingsenergie. Hierdoor is anti-scalant dosering noodzakelijk, en zal regelmatig een membraanreiniging nodig zijn. Ook zal de voedingsdruk van de RO hoger zijn, als gevolg van het door de hogere recovery veroorzaakte hogere zoutgehalte in de voeding.

In de geconcentreerde reststroom van de RO zijn alleen monovalente ionen en ongeladen stoffen aanwezig. Door dit aan te bieden aan een (flash)verdamper kan het zuivere water verdampen en daarna gecondenseerd worden en blijft een zuivere NaCl/KCl zoutstroom achter. In een flashverdamper wordt gewerkt met een lagere druk en daardoor is een lagere temperatuur vereist, hetgeen verwarmingsenergie bespaart. Het vrijkomende zuivere condensaat wordt toegevoegd aan de gietwaterstroom.

Stofstromen

In dit ontwerpalternatief worden zeven waterstromen onderscheiden, namelijk brak grondwater, de regeneraatstromen, het condensaat, het verzadigd water en de geconcentreerde reststroom met het RO permeaat dat wordt opgewerkt tot gietwater.

Er zijn ook enkele energiestromen zichtbaar in dit ontwerpalternatief. Het gaat om elektriciteit en warmte. Voor het transport van het grondwater naar de RO, een pomp voor het ontgaste water, voor de hogedrukpompen in de RO zelf, drie regeneraatpompen en een verzadigd water pomp. De energiebehoefte van de doseerpompen (anti-scalant, zuur, loog) wordt verwaarloosd. Warmte is nodig in de verdamper, warmte die nodig is voor het verwarmen van de CIP vloeistoffen wordt verwaarloosd. Aangenomen is dat met het Energy Recovery Device geen elektriciteit wordt teruggewonnen.

Er zijn vijf grondstofstromen te onderscheiden in dit ontwerpalternatief. Anti-scalant wordt gebruikt om vervuiling van de membranen te voorkomen, voor het regenereren van de ionenwisselaars worden HCl en NaOH gebruikt, en voor het reinigen van RO zijn zuur en loog nodig. De geconcentreerde reststroom bevat water en zout.

Uitgangspunten:

- De winput heeft een wincapaciteit van 7 m³/h.
- Recovery RO na voorbehandeling 80% (gecheckt met IMS design)
- De RO heeft een voeding van 7 m³/h en produceert daaruit 5,6 m³/h permeaat (recovery 80 %);
- De membraanflux is 17,1 l/m².h en de voedingsdruk 11,3 Bar;
- IEX wordt geregenereerd met HCl en NaOH;
- Eens per 2 jaar een CIP met een zuur en basische reiniging;
- Er wordt anti-scalant gebruikt;
- Membranen worden om de 4 jaar vervangen;
- Het kristallisatieproces in de kristallisator wordt gestimuleerd met warmte;
- 20 % van voedingsstroom wordt ingedampt met een flashverdamer (1,4 m³/h);
- Restwarmte die vrijkomt bij het condenseren van het verdamper productwater, wordt gebruikt voor het opwarmen van de geconcentreerde reststroom dat de verdamper ingaat.

4.4 Resultaten analyse en beoordeling ontwerpalternatieven

Voor elk van de ontwerpalternatieven zijn gegevens verzameld voor de 16 kenmerken uit het Donut Model (zie bijlage I). Op basis van expert judgement en reflectie met stakeholders is ingeschat of een ontwerpalternatief, waaronder de 'alternatief ontwerp' en 'innovatief ontwerp', lager of hoger scoort ten opzichte van de bestaande situatie (dit ontwerpalternatief is als referentie altijd 0). In Tabel 5 is overzichtelijk weergegeven hoe de ontwerpalternatieven zijn beoordeeld. In de volgende paragrafen is per kenmerk beschreven waarom een score is toegekend. In de discussie (paragraaf 4.5) zijn een aantal overwegingen voor het toekennen van de scores beschreven. In de conclusie is beschreven in hoeverre de verschillende ontwerpalternatieven een bijdraagt aan de inrichting van een circulaire waterketen in het Westland.

	Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zee	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
Energie en Stofstromen	Verbruik Energie	0	-	0
	Gebruik duurzame Energie	0	0	0
	Terugwinning Energie	0	0	0
	Verbruik Grondstoffen- en Water	0	--	-
	Gebruik duurzame grondstoffen en water	0	+	+
	Terugwinning grondstoffen- en water	0	0	++
Systeemwaarden	Zelfvoorzienendheid	0	0	0
	Hergebruiks potentie en Adaptiviteit	0	0	0
	Financiële waarde	0	--	-
	Integraliteit/Multifunctionaliteit	0	-	+
	Ecologische waarde	0	+	++
Waarde voor Mensen	Volksgezondheid	0	0	0
	Veiligheid	0	0	+
	Inclusiviteit	0	0	0
	Comfort	0	+	-
	Kwaliteit van de leefomgeving	0	-	0

Tabel 5. Overzichtstabel met beoordeling van de verschillende ontwerpalternatieven

4.4.1 Energieverbruik

Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar het energieverbruik (gas, warmte en elektriciteit) van de verschillende ontwerpalternatieven. Op basis van berekeningen en beschikbare gegevens (zie de informatiesheet bijlage III) is ingeschat hoeveel energie in elk situatie wordt verbruikt voor de periode van 50 jaar. Het gaat daarbij om

- 1) De energie die verbruikt wordt voor de productie en transport van de materialen in de installaties
- 2) Het energieverbruik tijdens de aanleg, operatie en het beheer van de installaties

De scores die zijn toegekend voor dit kenmerk gaan over de *hoeveelheid* energie die wordt verbruikt. Lager energieverbruik betekent een hogere score (--/-/0/+/++). Met dit kenmerk worden ontwerpen en maatregelen die bijdragen aan de *reductie van het gebruik van energie* dus positiever beoordeeld.

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zout water	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
Energieverbruik	0	-	0

In de bovenstaande tabel (en Tabel 5) is te zien dat het alternatief ontwerp lager scoort (-) dan de bestaande situatie en dat wordt ingeschat dat het energieverbruik met het toepassen van het innovatief ontwerp gelijk blijft (0). Voor het alternatieve ontwerp geldt dat er *evenveel grondwater* wordt gewonnen als in de nulsituatie, maar door de productie, het transport en de aanleg van de leiding (levensduur van 80 jaar) wordt er éénmalig veel energie verbruikt. Er zijn geen pompen nodig om de geconcentreerde reststroom te transporteren naar zee, maar er is dus ingeschat dat er *meer energie verbruikt* wordt dan in de bestaande situatie.

Voor het innovatieve ontwerp geldt dat er *minder grondwater* verwerkt hoeft te worden door de RO en de ZLD installaties. Dit komt omdat er water wordt teruggewonnen door het gebruik van de Zero Liquid Discharge installaties. Daardoor hoeft de RO en ook de ZLD installaties jaarlijks minder draaiuren te maken en wordt er minder energie verbruikt. Daarentegen word er een verdampingsinstallatie geplaatst, die de overgebleven geconcentreerde reststroom verwerkt. Door een hogere recovery is er een relatief klein volume aan geconcentreerde reststroom om in te dampen, alsnog kost dit waarschijnlijk meer energie dan de huidige situatie maar het verschil zal relatief klein zijn, ook door slim gebruik van restwarmte. Dus de inschatting is dat de vermindering van het energieverbruik ongeveer opweegt tegen de energie die het kost om de ZLD installaties te laten draaien (levensduur van 25 jaar). Kanttekening daarbij is dat, door een gebrek aan gegevens, het energieverbruik van de productie en transport van het materiaal voor de installaties (kationenwisselaar, ontgasser, anionenwisselaar, verdamper) en ook de aanleg niet is meegenomen in deze inschatting. De inschatting is gemaakt dat dit beperkt blijft.

4.4.2 Gebruik duurzame energie

Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar het percentage van de totale hoeveelheid van het energieverbruik met duurzame energie (windenergie, zonne-energie, waterkracht, aard- en bodemwarmte, groene waterstof, duurzame biomassaastroom) is ingevuld.

Hoe hoger het percentage aan duurzame energie, hoe hoger de score (--/-/0/+/++). Met dit kenmerk worden ontwerpen en maatregelen die ervoor zorgen dat er minder grijze energie gebruiken beter beoordeeld.

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zout water	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
-----------------------	---	--	--

Gebruik duurzame energie	0	0	0

In de bovenstaande tabel (en Tabel 5) is te zien dat alle ontwerpalternatieven de zelfde beoordeling hebben gekregen (0). In elk ontwerp wordt een deel van de energie die verbruikt wordt opgewekt door zonnepanelen. De warmte van de WKK installatie kan potentieel benut worden voor de verdampers, maar dit is geen uitgangspunt geweest van het ontwerp.

4.4.3 Terugwinning Energie

In geen van de situaties wordt energie teruggewonnen met het technische ontwerp.

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zout water	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
Terugwinning Energie	0	0	0

4.4.4 Grondstoffen en Waterverbruik

Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar het grondstoffen- en waterverbruik van de verschillende ontwerpalternatieven. Op basis van berekeningen en beschikbare gegevens (zie de informatiesheet bijlage III) is ingeschat hoeveel grondstoffen en water in elk situatie wordt verbruikt voor de periode van 50 jaar. Het gaat daarbij om

- 1) De grondstoffen en het water dat wordt verbruikt wordt voor de productie van de materialen in de installaties
- 2) Het grondstoffen en het waterverbruik tijdens de aanleg, operatie en het beheer van de installaties

De scores die zijn toegekend voor dit kenmerk gaan over de *hoeveelheid* grondstoffen en water dat wordt verbruikt. Lager grondstoffen- en waterverbruik betekent een hogere score (--/-0/+). Met dit kenmerk worden ontwerpen en maatregelen die bijdragen aan de *reductie van het verbruik van water en grondstoffen* dus positiever beoordeeld.

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zout water	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
Grondstoffen- en Waterverbruik	0	--	-

In de bovenstaande tabel (en Tabel 5) is te zien dat de alternatief ontwerp het laagst scoort op dit kenmerk (--). Er is namelijk ingeschat dat er in deze situatie de meeste grondstoffen inclusief water worden gebruikt. Voor zowel de alternatief ontwerp als het innovatieve ontwerp worden veel grondstoffen gebruikt (zie onderstaand beschrijving), maar in het innovatieve ontwerp wordt *minder* ruw water (brak grondwater) verbruikt. Om deze reden scoort het innovatieve ontwerp lager dan de nulsituatie, maar beter dan het alternatieve ontwerp waarbij de geconcentreerde reststroom op zee wordt geloosd. In de nulsituatie en de alternatief ontwerp wordt evenveel ruw water verbruikt.

In de bestaande situatie wordt er een infiltratieput aangelegd (deze ligt er in de meeste gevallen al en heeft een levensduur van 80 jaar). In de alternatief ontwerp wordt een transportleiding van ongeveer 7km lang (diameter 80mm) aangelegd om de geconcentreerde reststroom te lozen op zee. Het gaat om een PVC leiding. In het geval van het innovatieve ontwerp zijn er veel grondstoffen nodig voor de installaties van het Zero Liquid Discharge proces (kationenwisselaar, anionwisselaar, kristallisator, verdamper, regeneraatspomp en voedingspomp – zie Figuur 12). Deze installaties hebben een levensduur van ongeveer 25 jaar. In alle ontwerpen wordt anti-scalant gebruik voor het schoonhouden van de membranen. In het innovatieve ontwerp is de anti-scalant complexer, maar de hoeveelheden zijn vergelijkbaar.

4.4.5 Gebruik duurzame grondstoffen en water

Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar het percentage van de totale hoeveelheid van de grondstoffen en water dat met hergebruikte materie is ingevuld.

Hoe hoger het percentage aan hergebruikte materie, hoe hoger de score (--/-/0/+). Met dit kenmerk worden ontwerpen en maatregelen die ervoor zorgen dat er minder grondstof of waterreserves hoeven worden aangeboord (en mogelijk uitgeput) beter beoordeeld. Het gaat dus om het *vervangen* of een *substituut* van een primaire grondstof.

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zout water	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
Gebruik duurzame grondstoffen- en water	0	+	+

In de bovenstaande tabel (en Tabel 5) is te zien dat zowel het alternatieve en het innovatieve ontwerp hoger dan de bestaande situatie scoren (+). Dit komt doordat er in de alternatief ontwerp een HDPE leiding kan worden aangelegd. Het gaat daarbij om gerecycled materiaal waarvoor dus geen ruwe grondstof is gebruikt. Daarnaast wordt het innovatieve ontwerp ook beter beoordeeld dan de bestaande situatie (+). Door het gebruik van het innovatieve ontwerp hoeft er namelijk minder ruw water (brak grondwater) te worden gebruikt gedurende een periode van 50 jaar. Het teruggewonnen demi-water wordt na toevoeging direct ingezet als gietwater. Daarmee wordt het gebruik van ruw water (brak grondwater vervangen).

4.4.6 Terugwinning grondstoffen en water

Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar de (/het type) grondstoffen- en het water dat wordt teruggewonnen tijdens de bouw en operatie van het technische ontwerp. Op basis van berekeningen en beschikbare gegevens (zie de informatiesheet bijlage III) is ingeschat hoeveel grondstoffen en water in elk situatie wordt teruggewonnen voor de periode van 50 jaar.

De scores die zijn toegekend aan dit kenmerk gaan enerzijds over de *hoeveelheid* teruggewonnen grondstoffen en water, maar er wordt ook gekeken naar het *type* en de *kwaliteit* van de grondstof. Is er sprake van terugwinning van grondstoffen die potentieel benut kunnen worden in of voor andere toepassingen? Ontwerpen waarmee grotere hoeveelheden grondstoffen en water van hoogwaardige kwaliteit worden teruggewonnen worden krijgen een hogere score (--/-/0/+). Met dit kenmerk worden ontwerpen en maatregelen die zorgen voor het nuttig toepassen van grondstoffen en water (door terugwinning, hergebruik en recycling) positiever beoordeeld.

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zout water	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
Terugwinning grondstoffen en water	0	0	++

In de bovenstaande tabel (en Tabel 5) is te zien dat het innovatieve ontwerp het hoogst scoort op dit kenmerk (++). In de bestaande en ook de alternatief ontwerp worden namelijk geen grondstoffen of water (permeaat) teruggewonnen (-). Door het innovatieve ontwerp kan vrijwel al het water uit de geconcentreerde reststroom (permeaat) worden teruggewonnen en met toevoegingen (natrium) eenvoudig worden opgewerkt tot gietwater en weer gebruikt worden in de kas. Het gaat om 1.8 kuub water.

Door het proces van ZLD worden ook twee type zouten teruggewonnen, namelijk CaSO_4 , MgSO_4 zout én Na(K)Cl zout. In de reflectiesessie is besproken dat de hoeveelheden te laag zijn om de teruggewonnen grondstof daadwerkelijk te benutten of ergens anders toe te passen. Daarmee is het terugwinnen van deze grondstoffen geen onderdeel van de beoordeling.

Tot slot maakt het proces van Zero Liquid Discharge het ook mogelijk om CO_2 terug te winnen (in plaats van uit te stoten) en als grondstof te gebruiken in de kas. Deze optie is niet meegenomen in het ontwerp van de ZLD in de case Holstein en daarom ook geen onderdeel van de beoordeling.

4.4.7 Zelfvoorzienendheid

Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar de mate waarin gebruikers – in dit geval de tuinder – voor het beheer van het technische ontwerp afhankelijk is van andere organisaties, landen en bronnen voor de toevoer van grondstof en energie.

Daarbij geldt, hoe minder afhankelijk de tuinder is van andere locaties, landen en of bronnen hoe hoger de score (--/-/0+/++).

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zout water	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
Zelfvoorzienendheid	0	0	0

In de bovenstaande tabel (en Tabel 5) is te zien dat alle ontwerpalternatieven dezelfde beoordeling hebben gekregen (0). In elke situatie is er sprake van afhankelijkheid van derden voor het leveren van elektriciteit en anti-scalant, maar is er weinig afhankelijkheid van andere landen – het gaat om lokale energie en grondstoffen. De nuance verschillen zitten in het aanleveren van een PVC-buis (bestaande situatie), de leiding (alternatief ontwerp) en het leveren van alle installaties (de innovatieve situatie). Na de aanleg van de ontwerpen is er dus geen verschil tussen de ontwerpen ten aanzien van de afhankelijkheid van derden voor de toevoer van grondstof en energie.

4.4.8 Hergebruikspotentie en adaptiviteit

Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar de mate waarin de ontwerpen zijn gebouwd op basis van modulaire of 'cradle to cradle principes', waardoor onderdelen van het ontwerp eenvoudig elders kunnen worden toegepast. Er is gekeken naar de aanpasbaarheid (verandering van taak), veelzijdigheid (verandering van ruimte), vervangbaarheid (verandering van prestatie), omvormbaarheid (verandering van gebruik), schaalbaarheid (verandering van formaat) en verplaatsbaarheid (verandering van locatie) van (onderdelen van) het technische ontwerp.

Daarbij geldt, hoe meer adaptief, flexibel en modulair het technische ontwerp, hoe hoger de score (--/-/0/+/>

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zout water	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
Hergebruiks potentie en Adaptiviteit	0	0	0

In de bovenstaande tabel (en Tabel 5) is te zien dat alle ontwerpalternatieven dezelfde beoordeling hebben gekregen (0). Geen van de ontwerpen is specifiek ontworpen op basis van modulaire principes. Nadat de levensduur van de verschillende onderdelen op is wordt deze als afval verwerkt. In de bestaande situatie kan de put 80 jaar mee. In de alternatief ontwerp kan de transportleiding 80 jaar mee en de installaties in het innovatieve ontwerp kunnen 15 tot 25 jaar mee.

4.4.9 Financiële waarde

Dit kenmerk is beoordeeld door een schatting te maken van de investeringskosten van de technologie-combinatie voor het gebruik van de technologie-combinatie voor een periode van 20 jaar. Energieverbruik, grondstoffen en personeelskosten e.d. zijn daarbij niet meegenomen (zie bijlage III voor overzicht van de kosten o.b.v. de RHDHV kostencalculator)

Hoe hoger de investeringskosten, hoe lager de score (--/-/0/+/>

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zout water	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
Financiële waarde	0	--	-

In de bovenstaande tabel (en Tabel 5) is te zien dat de alternatief ontwerp de meeste investeringskosten met zich meebrengt door de aanleg van de transportleiding. De schatting is dat er eenmalig een investering van 2 miljoen moet worden gedaan voor de komende 80 jaar – hetgeen neer komt op 5 ton voor de komende 20 jaar – en jaarlijkse kosten van 2 ton. Deze situatie zou alleen betaalbaar zijn als het gezamenlijk door 16 tuinders wordt opgepakt. Daarnaast zijn de kosten hoog doordat er een complex vergunningstraject aangegaan dient te worden, de vergunningen, aanleg, en ingebruikname nemen al gauw 10 jaar inbeslag. Gedurende deze periode zijn er ook de kosten van het mogelijk geen water hebben in de kas en een grote kosten post aan milieu analyses en het risico op

veranderende lozingsvergunningen. Ook zijn er de indirecte kosten als gevolg van de toenemende verzakking die leidt tot het vaker doorspoelen van polders door waterschappen en het verzakken van huizen. Al met al leidt dit tot een dubbele - beoordeling. Het innovatieve ontwerp vraagt om een investering van ongeveer 3 ton voor de periode van 20 jaar en heeft het potentieel om nog opbrengsten in de vorm van zout te produceren en is met een enkele - beoordeeld.

4.4.10 Integraliteit

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

Hoe hoger het aantal uitdagingen met het technisch ontwerp worden aangepakt, hoe hoger de score (--/-/0/+/++).

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zout water	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
Integraliteit/Multifunctionaliteit	0	-	+

In de bovenstaande tabel is te zien dat de alternatief ontwerp lager scoort dan de nulsituatie (-) en dat het innovatieve ontwerp hoger op dit kenmerk (+). In de bestaande situatie draagt het technische ontwerp alleen bij aan de oplossing voor watertekort van de tuinder en dus aan één doel. Daarnaast draagt het ook bij aan de het probleem van bodemdaling door het onttrekken van grondwater. Voor de alternatieve ontwerp geldt ook dat het technische ontwerp bijdraagt aan één doel. Daar komt bij dat de aanleg van de transportleiding druk legt op de ruimte in de ondergrond én dat bodemdaling plaatsvind – het water wordt getransporteerd naar zee. Dit technische ontwerp heeft daarom een lagere score (-) dan de bestaande situatie.

Aan het alternatieve ontwerp is een hogere score (+) toegekend. Het technische ontwerp vermindert het probleem van bodemdaling doordat meer water wordt teruggewonnen en er minder grondwater hoeft worden opgepompt. Een kanttekening bij dit ontwerp is dat de toename van het energieverbruik door de RO+ZLD, druk kan leggen op de energievraag. In de case van Holstein blijft dit beperkt, maar de recovery van de RO is afhankelijk van de waterkwaliteit en voorbehandeling, het kan dus niet veralgemeniseerd worden.

4.4.11 Ecologische waarde

Het kenmerk ecologische waarde is in deze analyse beoordeeld door de kijken naar de schade die toe wordt toegebracht aan ecosystemen door emissies die worden uitgestoten naar bodem, water en/of lucht (zowel lokaal als mondiaal).

Hoe hoger de schade die wordt toegebracht aan ecosystemen door emissies naar bodem, water en/of lucht (zowel lokaal als mondiaal), hoe lager de score.

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zout water	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
Ecologische waarde	0	+	++

In de bovenstaande tabel (en Tabel 5) is te zien dat zowel het alternatieve (+) als het innovatieve ontwerp (++) hoger scoren dan de nulsituatie. Voor de bestaande situatie (0) geldt dat de geconcentreerde reststroom met hogere zoutgehaltes dat in het (2e) watervoerend pakket wordt ingebracht, kan zorgen voor een verhoging van het zoutgehalte en daarmee van invloed zijn op het aquatische- en bodemecosysteem. Voor de alternatief ontwerp geldt dat de geconcentreerde reststroom als puntlozing terecht komt in het (aquatisch) ecosysteem van de Nieuwe Waterweg. KWR-experts schatten in dat de invloed op het ecosysteme niet heel groot is omdat er sterke verschillen zijn in eb en vloed (+). Voor het innovatieve ontwerp geldt dat de geconcentreerde reststroom volledig wordt verwerkt. Omdat er geen emissies worden uitgestoten naar water is er zekerheid dat er geen schade wordt toegebracht aan ecosystemen. Aan dit ontwerp is een hogere score toegekend (++).

In elk ontwerpalternatief wordt door het energieverbruik CO₂ uitgestoten naar de lucht, maar er zijn weinig onderlinge verschillen.

4.4.12 Volksgezondheid

Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar de mate waarin het toepassen van het technische ontwerp meer, minder of gelijke risico's met zich meebrengt voor de volksgezondheid (in het algemeen). Het bewaken van de risico's voor de volksgezondheid is essentieel voor het sociaal fundament en is daarmee van belang voor de circulariteit van de waterketen.

Hoe lager het risico op ziekte en hoe meer bevorderend het technische ontwerp is voor de volksgezondheid, van mensen zowel lokaal als mondiaal (MvO) tijdens de aanleg, operatie en beheer voor de levensduur van het technische ontwerp, hoe hoger de score (--/-/0/+/>

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zout water	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
Volksgezondheid	0	0	0

In de bovenstaande tabel (en Tabel 5) is te zien dat alle ontwerpalternatieven dezelfde beoordeling hebben gekregen (0). Geen van de ontwerp alternatieven brengen significante risico's met zich mee voor de volksgezondheid in het algemeen, zoals risico's op virus of bacterieverspreiding. Daar moet wel de opmerking bij worden geplaatst dat in het geval van het innovatieve ontwerp meer chemicaliën (anti-scalant) worden gebruikt. Dit wordt gezien als een bedrijfsrisico voor de tuinder die verantwoordelijk is voor de gezondheid en veiligheid van zijn/haar werknemers, waartegen maatregelen moeten worden genomen.

4.4.13 Veiligheid

Voor dit kenmerk is gekeken naar de mate waarin het toepassen van het technische ontwerp risico's voor de (water)veiligheid met zich meebrengt. Daarbij kan het gaan om overstromingsrisico's, ontploffingsrisico's, slachtofferrisico's, risico's van bodemdaling en daarmee samenhangende economische risico's.

Hoe minder risico's ten aanzien van de veiligheid hoe hoger de score (--/-/0/+/>

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zout water	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge

Veiligheid	0	0	+
------------	---	---	---

In de bovenstaande tabel (en Tabel 5) is te zien dat het innovatieve ontwerp hoger scoort dan de nulsituatie en de alternatief ontwerp (-). Voor de bestaande situatie geldt dat het onttrekken van grondwater zorgt voor bodemdaling [26]. Daardoor nemen de veiligheidsrisico's toe door het verzakken van huizen – hetgeen ook economische schade kan veroorzaken (0). In de alternatief ontwerp zijn deze risico's nog hoger, omdat er geen water wordt teruggebracht in de bodem en bodemdaling kan toenemen. De alternatief ontwerp heeft daarom een lagere score maar niet significant en is dus beoordeeld als een (0). Met het innovatieve ontwerp nemen de risico's op bodemdaling af omdat er minder grondwater onttrokken wordt. Het gaat om 60% minder water dat hoeft te worden onttrokken, hetgeen de risico's aanzienlijk verminderd – maar ook niet voorkomt. Het alternatieve ontwerp scoort daarom hoger dan de bestaande situatie.

4.4.14 Inclusiviteit

Voor dit kenmerk is gekeken naar de mate waarin met het technische ontwerp sociale (belangen) groepen of burgers worden betrokken bij het gebruik van de toepassing, lokale kennis wordt benut of het waterbewustzijn wordt vergroot.

Hoe hoger de mate van *participatie* (hoger op de participatieladder), *pluralisme* (diversiteit aan culturele en sociale (belangen)groepen die betrokken zijn), *waterbewustzijn* (de mate van kennis over de waterketen) en lokale kennis dat benut is, hoe hoger de score (--/-/0+/++).

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zout water	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
Inclusiviteit	0	0	0

In de bovenstaande tabel (en Tabel 5) is te zien dat alle ontwerpalternatieven dezelfde beoordeling hebben gekregen (0). Ten tijde van de analyse waren er voor geen van de ontwerpen (belangen)groepen of burgers betrokken, alhoewel dat met oog op de bodemdaling in het gebied wenselijk zou zijn. In het geval van de alternatief ontwerp, waarbij een transportleiding wordt aangelegd, zou participatie waarschijnlijk zelfs verplicht zijn. In deze verkennende fase zijn er nog geen stappen genomen, waardoor de scores gelijk zijn.

Ook wordt met geen van de ontwerpen het *waterbewustzijn* vergroot. Het innovatieve ontwerp zou wel bij zou kunnen dragen aan het bewustzijn over hergebruik van water, maar daar zou de tuinder actief over moeten communiceren, bijvoorbeeld via de website, tijdens het jaarlijkse terugkerende evenement 'Kom in de kas' en/of via glastuinbouw Nederland. Ten tijde van analyse is dit nog niet aan de orde.

4.4.15 Comfort

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

Hoe hoger de mate van ontzorging (bijv. geen wateroverlast), gebruiksgemak (bijv. geen gedragsaanpassing gevraagd) en (klant)tevredenheid (bijv. door een hoge mate van leveringszekerheid), hoe hoger de score (--/-/0+/++).

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zout water	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
Comfort	0	+	-

In de bovenstaande tabel (en Tabel 5) is te zien dat de alternatief ontwerp hoger (+), en het innovatieve ontwerp lager (-) scoort dan de bestaande situatie (+). Het comfort van de technologie-combinatie is lastig te beoordelen omdat er voor elke situatie andere ongemakken gelden, die ook door tuinders anders kunnen worden ervaren, maar in samenspraak met de kerngroep is bepaald dat het comfort in het innovatieve ontwerp het laagst is door de complexiteit en de nieuwigheid van de installaties. Met dit ontwerp moet nieuwe kennis worden vergaard en moeten er (op gezette tijden) nieuwe handelingen worden uitgevoerd, mede voor het gebruik van anti-scalant. Dat werd als minder positief ervaren dan de bestaande situatie.

De eenmalige uitdagingen van het aanvragen van vergunningen voor en de aanleg van de transportleidingen worden als minder problematisch ervaren dan het structurele ongemakken van het beheer van de RO en ZLD of het oplossen en schoonmaken van putverstoppingen. De alternatief ontwerp is daarom positiever beoordeeld dan de bestaande situatie.

4.4.16 Kwaliteit van de leefomgeving

Voor de beoordeling van dit kenmerk wordt gekeken naar de kwaliteit van de leefomgeving in boven en ondergrond. Zorgt de constructie, bouw of plaatsing van het technische ontwerp in de ruimtelijke omgeving voor een meer of minder aantrekkelijke plek? Neemt het technische ontwerp veel of weinig (openbare) ruimte in beslag?

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

Kenmerken Donut model	Bestaande situatie: Geconcentreerde reststroom injecteren in diepere grondlaag	Alternatief ontwerp: Geconcentreerde reststroom lozen op zout water	Innovatief Ontwerp: Verwerking geconcentreerde reststroom middels Zero Liquid Discharge
Kwaliteit van de leefomgeving	0	-	0

In de bovenstaande tabel (en Tabel 5) is te zien dat de alternatief ontwerp lager (+) scoort dan de bestaande situatie (0) en het innovatieve ontwerp (0). Voor de alternatief ontwerp geldt dat het technische ontwerp beslag zal leggen op de openbare ruimte in de ondergrond. Dit zal niet permanent voor een verandering ten aanzien van de kwaliteit van de leefomgeving zorgen, maar wel tijdelijk de beleving van de openbare ruimte van bewoners verminderen. In de bestaande situatie en het innovatieve ontwerp is er alleen sprake van ingrepen op het terrein van de tuinder, welke geen of weinig invloed hebben op de kwaliteit van de leefomgeving.

4.5 Discussie

Het toekennen van scores aan de ontwerpalternatieven betreft een inschatting die zorgvuldig is uitgevoerd door experts en ook in reflectie met andere stakeholders. Zie Figuur 13 voor een visuele samenvatting van de scores van de Donut analyse. Deze beoordeling gebaseerd op informatie over één case studie in het Westland, waardoor uitspraken niet één-op-één kunnen worden overgenomen voor de toepassing van RO & ZLD discharge bij andere tuinders in het Westland. Alvorens over te gaan op uitspraken over de bijdragen van de ontwerpen aan de circulaire

waterketen in het Westland wordt voor een aantal kenmerken uitgelicht welke overwegingen schuil gaan achter de gezamenlijke beoordeling.

Een van de belangrijkste discussies tijdens de reflectiesessie en de expertsessies ging over het kenmerk *energieverbruik*. Voor het innovatieve ontwerp zijnde verwerking van geconcentreerde reststroom met Zero Liquid discharge, is in deze analyse beoordeeld dat het energieverbruik gelijk blijft, maar er zijn een aantal kanttekeningen te maken. Allereerst, was er niet voldoende informatie in de RHDHV kostencalculator beschikbaar om het energieverbruik van de productie, het transport van de materialen en de aanleg te berekenen. Daarnaast is het ook belangrijk om op te merken dat de case Holstein wat betreft recovery van de RO uitzonderlijk is in vergelijking met andere tuinders. Voor Holstein geldt dat er sprake is van 39% recovery, waardoor zij een kleine RO installatie hebben staan. Bij andere tuinders staat een grotere RO – meestal 50% recovery – waardoor de berekeningen voor het energieverbruik ook hoger zouden kunnen uitvallen. Dat zou betekenen dat dit kenmerk ook een lagere score zou krijgen voor het kenmerk energieverbruik.

Er ontstond ook discussie over het *gebruik van de grondstof* anti-scalant. Uit de analyse is gebleken dat dit chemische middel bij elk ontwerp moet worden gebruikt, maar dat het in het innovatie ontwerp om een complexe variant gaan. De gevolgen van het gebruik van anti-scalant voor gebruiker en ook de ecologie – door infiltratie – is in deze studie niet inzichtelijk geworden. Ook is niet duidelijk of het injecteren van water met anti-scalant resten toegestaan is. Biologisch afbreekbare anti-scalant zou een oplossing zijn. Daar staan financiële kosten tegenover.

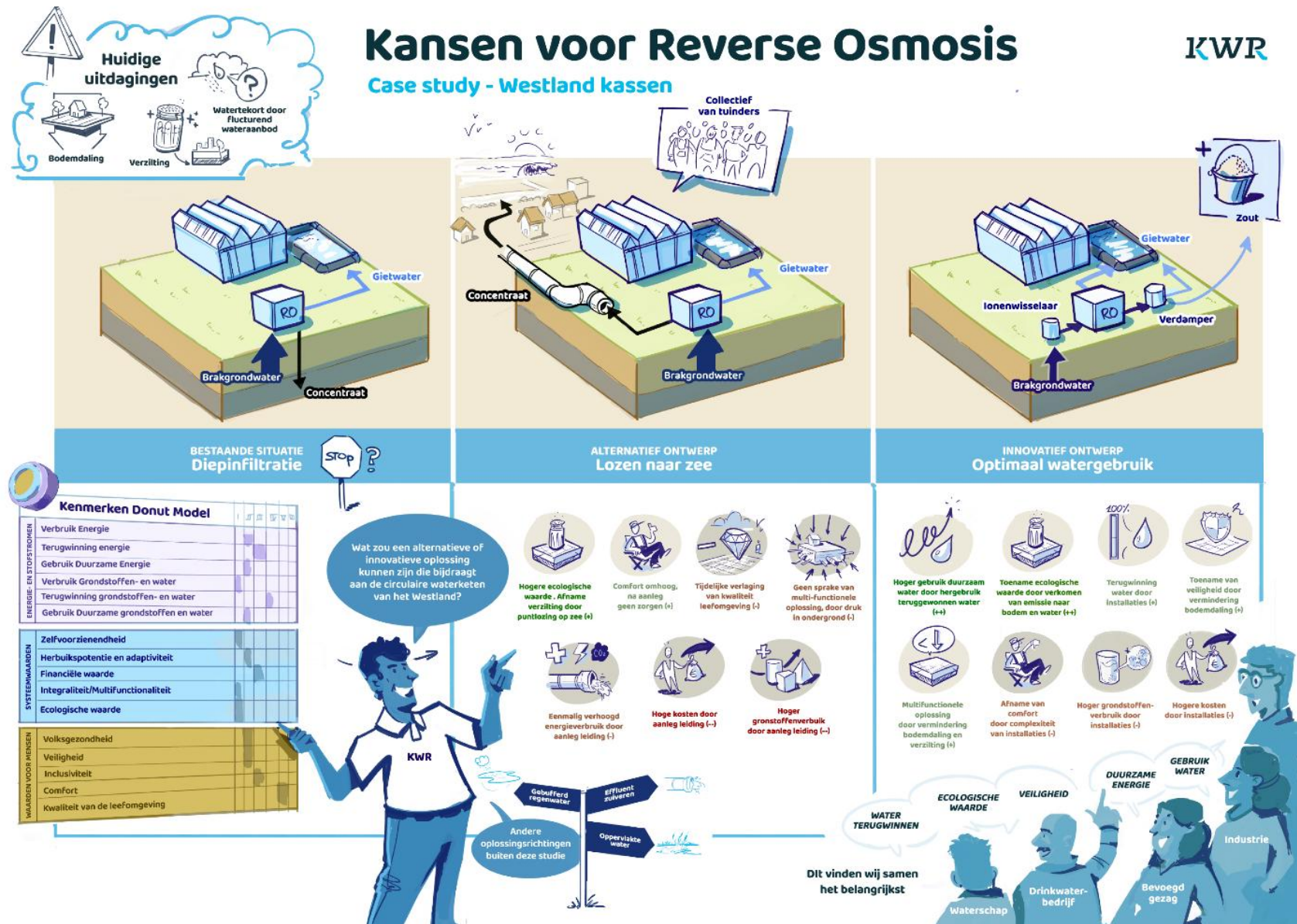
Het is belangrijk om te benoemen dat het aanpassen van de ontwerpen kan leiden tot een andere beoordeling. Voor het gebruik van *duurzame energie* is tijdens de reflectiesessie opgemerkt dat de warmte uit de kas benut zou kunnen worden voor de verdamper in de ZLD installaties. Bij de meeste kassen staat namelijk een WKK. Dit is voor deze analyse niet meegenomen in het ontwerp, maar dit zou nog verder onderzocht kunnen worden. Ook is de vraag opgekomen of de CO2 van de installatie kan worden afgevangen. Dit zou onderzocht kunnen worden, maar tijdens de reflectiesessie werd betwijfeld of dit de moeite was. Tot slot zou het kenmerk *hergebruikspotentie en adaptiviteit* anders beoordeeld kunnen worden als er in een eerder stadium was nagedacht over de ‘modulariteit’ van de ontwerpen.

Voor de financiële waarden is belangrijk om te noemen dat het alternatieve ontwerp alleen interessant is wanneer tuinders gezamenlijk optrekken om een pijpleiding voor lozing op zee aan te leggen. Dit ontwerp is niet haalbaar voor een individuele tuinder en er is berekend dat het alleen rendabel zou zijn in het geval er 16 tuinders aansluiten.

Over het kenmerk *volksgezondheid* ontstond discussie ten aanzien van de risico's voor het gebruik van anti-scalant. Hoewel dit kenmerk beoordeeld in hoeverre de gezondheidsrisico's voor een groter deel van de bevolking toenemen – hetgeen niet het geval is, is er wel sprake van meer risico's voor de werknemers in het geval van het innovatieve ontwerp door het gebruik van meer complexe anti-scalant.

Een andere opvallende discussie was dat het kenmerk *inclusiviteit* en de participatie van bewoners door de reflectiegroep anders werd ingevuld dan in het Donut Model. Het Donut Model beschouwt meer participatie als positief, terwijl de deelnemers in de reflectiesessie minder positief staan tegenover het betrekken van omwonenden. Dit is ook terug te zien in Tabel 6 en Tabel 7, waarbij inclusiviteit het minst belangrijk wordt gezien om mee te wegen bij een besluit over een ontwerp.

Tot slot is er ook discussie gevoerd over de *kwaliteit van de leefomgeving*. Er is betwist of het aanleggen van een leiding (alternatief ontwerp) lager gescoord moet worden. Maar hoewel het om tijdelijke afname van de kwaliteit van de leefomgeving gaat, kan toch beoordeeld worden dat dit negatiever is dan wanneer er alleen op het eigen terrein aanpassingen worden gedaan.



Figuur 13 Visuele samenvatting resultaten maatschappelijke waarden analyse geconcentreerde reststroombehandeling met zero liquid discharge.

4.6 Stakeholderperspectief

In de zoektocht naar oplossingen voor de complexe en gelaagde problematiek van waterschaarste in de regio Westland zijn er verschillende stakeholderperspectieven die meegenomen moeten worden om te komen tot een besluit over een oplossing. Met oog op de verschillende uitdagingen waar Nederland voor staat zal er geen optimale of perfecte oplossing zijn – deze is er immers nooit – en is het belangrijk om goed af te wegen waarom en voor wie een oplossing maatschappelijk gezien de meeste waarde heeft. Dat betekent vooral dat het oplossen van één uitdaging, niet een andere uitdaging verergert.

Om tot een goed besluit te komen ten aanzien van de oplossing voor de uitdaging van waterschaarste in de glastuinbouw is het belangrijk om te erkennen en expliciet te maken dat verschillende stakeholders ook verschillende waarden en belangen meebrengen. Door stakeholders te vragen welk gewicht (1-5) zij zouden toekennen aan een kenmerk wordt inzichtelijk wat voor hen belangrijk is (zie Tabel 5). Op basis van deze waardenanalyse is het ook mogelijk om tot een prioritering ten aanzien van gezamenlijke belang te komen. Hoewel de scores dichtbij elkaar liggen is in Tabel 6 te zien dat de zes kenmerken *veiligheid*, *terugwinning energie en grondstoffen*, *grondstoffen- en waterverbruik*, *gebruik duurzame energie*, *ecologische waarde* en *volksgezondheid* als meest belangrijk worden gezien.

	Kenmerken Donut model	Waternet	Glastuinbouw Nederland	Aquafin	PWN	Waterschap rivierenland	Totaal
Energie en Stofstromen	Energieverbruik	3	3	5	4	2	17
	Grondstoffen- en Waterverbruik	5	2	5	4	3	19
	Terugwinning Energie	3	1	4	5	3	16
	Terugwinning grondstoffen en water	5	3	2	5	5	20
	Gebruik duurzame energie	5	1	3	5	4	18
	Gebruik duurzame grondstoffen- en water	5	3	3	5	1	17
Systeemwaarden	Zelfvoorzienendheid	1	5	4	5	1	16
	Hergebruiks potentie en Adaptiviteit	2	4	1	5	1	13
	Financiële waarde	2	5	4	3	3	17
	Integraliteit/Multifunctionaliteit	3	3	3	3	3	15
	Ecologische waarde	4	3	4	5	2	18
Waarde voor Mensen	Volksgezondheid	5	5	2	5	1	18
	Veiligheid	5	4	5	5	2	21
	Inclusiviteit	2	3	2	4	1	12
	Comfort	3	4	3	3	2	15
	Kwaliteit van de leefomgeving	4	3	3	5	2	17

Tabel 6. Overzicht belang dat stakeholders toekennen aan de verschillende kenmerken.

	Kenmerken Donut model	Waternet	Glastuinbouw Nederland	Aquafin	PWN	Waterschap rivierenland	Totaal
	Veiligheid	5	4	5	5	2	21
	Terugwinning grondstoffen en water	5	3	2	5	5	20
	Grondstoffen- en Waterverbruik	5	2	5	4	3	19
	Gebruik duurzame energie	5	1	3	5	4	18
	Ecologische waarde	4	3	4	5	2	18
	Volksgezondheid	5	5	2	5	1	18
	Energieverbruik	3	3	5	4	2	17
	Gebruik duurzame grondstoffen- en water	5	3	3	5	1	17
	Financiële waarde	2	5	4	3	3	17
	Kwaliteit van de leefomgeving	4	3	3	5	2	17
	Terugwinning Energie	3	1	4	5	3	16
	Zelfvoorzienendheid	1	5	4	5	1	16
	Integraliteit/Multifunctionaliteit	3	3	3	3	3	15
	Comfort	3	4	3	3	2	15
	Hergebruiks potentie en Adaptiviteit	2	4	1	5	1	13
	Inclusiviteit	2	3	2	4	1	12

Tabel 7. Mate waarin de groep stakeholders als onderdeel van de reflectiegroep in het Kansen voor Geconcentreerde Reststromen belang toekennen aan een kenmerk uit het Donut Model. Het kenmerk dat de stakeholders gezamenlijk het meeste gewicht toekennen staat bovenaan.

4.7 Reflectie MIS en toekomstperspectief

Het missie-gedreven innovatie systeem model is gebruikt om de context rond de hoogtechnologische alternatieve en innovatieve ontwerpalternatief te duiden. Door de context te duiden is het mogelijk de bijdrage aan het missie-gedreven innovatie systeem bij te sturen en de positieve of negatieve bijdrage aan de circulaire economie in kaart te brengen. De context en de hoogtechnologische innovatie wordt geduid middels de factoren uit het missie-gedreven innovatie systeem die als belangrijk zijn aangemerkt, dit zijn: richting geven aan het zoekproces, marktcreatie, tegen gaan van weerstand, druk zetten op het regime en coördinatie. Deze factoren zullen opeenvolgend worden geduid met bevindingen van de studie rond het Donut model voor de circulaire watersector.

Richting geven aan het zoekproces, gaat over de verwachtingen die van de technologie zijn gesteld. In dit geval wordt er van de technologie verwacht dat het bijdraagt aan de circulaire watersector. Voor het alternatieve ontwerp zijn er beperkte positieve bijdragen aan de circulaire economie, er wordt verzilting tegen gegaan door een puntlozing op zee en er is meer comfort voor de tuinder door de beschikbaarheid van zoet water zonder benodigde vergunning om in de bodem te lozen. Anderzijds zijn er negatieve bijdragen aan de circulaire economie, tijdens de bouw is er impact op de leefomgeving, hoge kosten, hoog grondstoffen verbruik en een verhoogd energie verbruik, daarnaast is er een blijvende druk op de ondergrond doordat de hoeveelheid water die gewonnen wordt gelijk blijft.

Voor het innovatieve ontwerp zijn er positieve bijdragen aan de circulaire economie in de vorm van het (her)gebruik van duurzaam water, het voorkomen van lozingen naar het milieu, vermindering van bodemdaling, en de integraliteit van de oplossingsrichting. Er zijn ook negatieve bijdragen aan de circulaire economie in de vorm van complexe installaties, hoog grondstoffenverbruik voor de bouw van de installaties en hoge kosten.

Gesteld kan worden dat een focus binnen het verdere innovatie traject op het verminderen van deze negatieve aspecten bij kan dragen aan een betere bijdrage aan het missie-gedreven innovatie systeem.

Marktcreatie, is gericht op de inpassing van geproduceerde producten en diensten in het de bestaande markt van (uitontwikkelde) producten. In het alternatieve ontwerp wordt als product gedemineraliseerd water geproduceerd en het brijn naar zee afgevoerd. Gezien dit proces ingezet word om water voor eigen gebruik te produceren is hier geen probleem met afzet van (rest)producten. In het innovatieve ontwerp worden er meerdere producten gemaakt, waaronder diverse zouten. Voor de zouten is nog geen afnemer gevonden en hier zal veel aandacht aan besteed dienen te worden, gezien de economische en praktische haalbaarheid hiermee samenhangt.

Tegen gaan van weerstand, veel vernieuwingen gaan gepaard met weerstand, deels door commerciële belangen en deels door het comfort van bekende systemen en technologieën. In het alternatieve ontwerp wordt zoet water geproduceerd uit brak grondwater en de geconcentreerde reststroom naar zee afgevoerd. De weerstand in dit scenario zal komen uit de tuinbouw hoek die altijd de geconcentreerde reststroom heeft kunnen injecteren in de ondergrond wat bekend en kosten effectief was. In het innovatieve ontwerp kan komen omdat de tuinders met nieuwe nog niet uitontwikkelde technologie gaan werken en zouten moeten gaan verkopen, dit betekent discomfort.

Druk zetten op het huidige regime draait om het tegen gaan van gewoonten, regelgeving, subsidies en andere acties die het huidige regime in stand houden. Dit is niet expliciet bestudeerd in het project maar in het geval van het alternatieve ontwerp gaat het hier bijvoorbeeld om nog bestaande vergunningen om een geconcentreerde reststroom in de ondergrond te lozen; tuinders met een geldige vergunning zijn hierdoor mogelijk minder bereid om mee te betalen aan infrastructuur om te lozen op zee. Voor het innovatieve ontwerp geldt hiernaast dat het mogelijk financieel onaantrekkelijk is om de installaties neer te zetten en in bedrijf te houden. Door de regelgeving en doelbewust invloed uit te oefenen op gedrag van consumenten en bedrijven kan er meer gedaan worden om de innovatie te ondersteunen.

Coördinatie, het afstemmen tussen verschillende technologie paden leidt tot een versnelling van innovatie en het bereiken van het doel van het missie-gedreven innovatiesysteem. Dit is niet expliciet bestudeerd in het project, maar voor het alternatieve ontwerp geldt bijvoorbeeld dat het aanleggen van infrastructuur om een geconcentreerde reststroom op zee te lozen waarschijnlijk pas aantrekkelijk wordt als meerdere bedrijven zich in een consortium verenigen, of het verplicht wordt gesteld om op zee te lozen. Voor het innovatieve ontwerp geldt daarboven op dat het voordelig is als de verschillende bedrijven met elkaar coördineren hoe ze de zouten maken en verkopen of de geconcentreerde reststroom in collectief verband behandelen.

De besproken factoren van het missie-gedreven innovatiesystemen laten een genuanceerd beeld zien van kansen en beperkingen van de technologie. Deze kunnen verder opgepakt in de doorontwikkeling van de technologieën.

4.8 Conclusie

Op basis van de circulaire analyse en de discussies die gevoerd zijn in de reflectiesessies en co-creatieve sessies kan toegewerkt worden naar het antwoord op de vraag:

In hoeverre draagt het toepassen van de technologie-combinatie RO en ZLD bij aan het inrichten van een lokale circulaire waterketen in het Westland?

Op basis van de circulaire analyse kan beoordeeld worden dat het toepassen van de technologie-combinatie RO en ZLD (innovatieve ontwerp) meer bijdraagt aan de circulaire waterketen dan het alternatieve ontwerp (lozen van een geconcentreerde reststroom op zout water) en ook beter scoort dan de bestaande situatie. Dit heeft vooral te maken met het optimaliseren van het watergebruik door het toepassen van RO en ZLD. De geconcentreerde reststroom kan bijna volledig worden verwerkt en worden teruggewonnen voor hergebruik in de kas. Dit heeft tot gevolg dat er ook minder grondwater hoeft te worden onttrokken en doordat deze stroom niet in de bodem wordt geïnjecteerd vermindert het risico op verzilting. Er zijn ook positieve effecten ten aanzien van de bodemdaling; minder grondwateronttrekking is simpel gezegd minder bodemdaling. Doordat er minder bodemdaling is, zijn er ook minder risico's voor de veiligheid ten aanzien van verzakking van huizen in de regio en bijkomende economische schade.

De opbrengst van het zout dat wordt teruggewonnen draagt op dit moment weinig bij aan de circulaire waterketen in het Westland. Momenteel wordt dit zout vooral nog als afvalzout gezien, omdat het geen constante kwaliteit heeft. In het geval er anti-scalant in het zout zit, zou het ook niet inzetbaar zijn als strooizout. Daarnaast zijn er ook kanttekeningen te plaatsen bij het inzetten op het innovatieve ontwerp. Er moeten namelijk ook 8 installaties worden geplaatst. Daardoor gaat het grondstoffengebruik omhoog en moet er ook complexe anti-scalant worden gebruikt, hetgeen risico's met zich mee kan brengen voor de gezondheid van de gebruiker. Het plaatsen van deze installaties vraagt daarbij om een investering en het beheer van de apparatuur zorgt voor minder comfort voor de tuinder omdat het om complexe installaties gaat.

Over het algemeen is minder circulaire en maatschappelijke winst te behalen door in te zetten op het alternatieve ontwerp ten opzichte van het innovatieve ontwerp. Het lozen van de geconcentreerde reststroom op zee draagt minder bij aan de circulaire waterketen van het Westland; er wordt niet op een circulaire manier met het water omgegaan. Daarbij neemt ook het verbruik van energie en grondstoffen toe en staan er geen positieve effecten ten aanzien van bodemdaling tegenover. De risico's op verzilting wordt met dit ontwerp kleiner, maar door het aanleggen van de leiding wordt wel de druk ten aanzien van de ruimte in de ondergrond vergroot. Het comfort neemt toe met de aanleg van deze leiding. Er is namelijk alleen eenmalig papierwerk voor de vergunning, maar vervolgens hoeven tuinders niet meer om te kijken naar de leiding voor de komende 80 jaar.

De bestaande situatie zou door de wijziging van de regelgeving rondom het injecteren van de geconcentreerde reststroom in de bodem sowieso niet meer houdbaar zijn, maar dit ontwerp draagt op zichzelf ook minder bij aan een circulaire waterketen in de regio Westland. Water wordt niet op circulaire wijze in het systeem gebruikt en door de grondwateronttrekking neemt de kans op bodemdaling toe. Door het injecteren van de geconcentreerde reststroom kan er verzilting optreden.

Een reflectie op het gebruikte missie-gedreven innovatie systeem model biedt inzicht in de toekomstperspectieven van de ontwerp alternatieven. Uit de reflectie komt naar voren dat voor verdere implementatie het loont om te focussen op:

1. Het centrale doel van de circulaire watersector en hiermee op het verminderen van negatieve bijdragen aan de circulaire watersector.
2. Het creëren van een markt voor de rest producten van het innovatieve ontwerp.
3. Tegen gaan van weerstand tegen implementatie van nieuwe technieken.
4. Het aanpassen van gewoonten, subsidies en regelgeving die het bestaande regime in stand houden.
5. Het samenbrengen van stakeholders rond een bepaalde oplossingsrichting om snelheid in ontwikkeling te behouden.

Concluderend, kan op basis van de inzichten gezegd worden dat *het innovatieve ontwerp RO en ZLD perspectief biedt voor de glastuinbouw en de circulaire waterketen in het Westland*. Als we kijken naar de kenmerken die door de stakeholders als meest belangrijk worden ervaren – veiligheid, terugwinning energie en grondstoffen, grondstoffen- en waterverbruik, gebruik duurzame energie, ecologische waarde en volksgezondheid – geldt dat het meeste belang wordt gehecht aan het bewaken van de veiligheid (voorkomen bodemdaling), het terugwinnen van water en het beperken van schade aan ecosystemen. Daar staat wel tegenover dat er meer energie en grondstoffen worden verbruikt en ook dat het gebruik van meer complexe anti-scalant negatieve gevolgen kan hebben voor de ecologie.

Daarbij is het relevant om te benoemen dat de RO en ZLD combinatie voor de glastuinbouw als potentiële oplossingsrichting bestempeld kan worden omdat de RO in deze sector al veelvuldig gebruikt wordt. Deze sector is hoogtechnologisch, waardoor het voor dit innovatiesysteem zinnig kan zijn om voort te bouwen op deze route in de transitie naar een circulaire waterketen. Aan de andere kant kan het ook voor een lock-in zorgen. Er is al geïnvesteerd in de RO-technologie, maar over 15-20 jaar moet het gros van de installaties door einde levensduur vervangen worden. Als er dan nog andere installaties aan gekoppeld zijn, worden er ook geen andere keuzes gemaakt ten aanzien van het verwerken óf beperken van de geconcentreerde reststroom.

In het verlengde daarvan is het tot slot belangrijk om aan te stippen dat er in dit project slechts drie ontwerpalternatieven zijn onderzocht, maar dat er ook nog andere alternatieve oplossingen zijn voor de waterschaarste-problematiek in de glastuinbouw, zoals meer regenwateropslag of gebruik van effluent. De technologie-combinatie RO en ZLD kan bestempeld worden als een 'hoogtechnologische' oplossing voor het uitdagingen van waterschaarste, bodemdaling en ook verzilting in de regio Westland. Maar deze oplossing zal wel zorgen voor extra druk op de grondstoffen- en energietransitie.

5 Conclusie

De eindconclusie over beide casestudies is dat zowel de alternatieve ontwerpen, als de innovatieve ontwerpen bijdragen aan én druk leggen op de circulaire (drink)water keten. De positieve bijdragen zijn het doel van de veranderingen in de gebruikte techniek, de markt en de regelgeving, en leiden tot grotere zoetwaterbeschikbaarheid, en waardevolle grondstoffen (terug)winning. De negatieve bijdragen zijn voor een deel door procesoptimalisatie nog te reduceren (grondstoffen verbruik, ruimteclaims, risico's voor de omgeving, en ecologische risico's) maar andere zijn inherent aan de gekozen ontwerpen (hoger energieverbruik, en toegenomen complexiteit).

Het doel van dit rapport was het verkennen van de implicaties op de circulaire waterketen van de verwerking van geconcentreerde reststromen afkomstig van membraanfiltratie-installaties (omgekeerde osmose, RO) met twee verschillende techniekcombinaties, uitgewerkt in twee casestudies. De eerste casestudie is de toepassing van de technologiecombinatie van Reverse Osmosis (RO) en superkritische watervergassing op RWZI-effluent in de regio Alkmaar. In deze casestudie is de huidige onbehandelde RWZI-lozing, vergeleken met RO-behandeling (alternatief ontwerp) en met de combinatie RO en superkritisch vergassing (innovatief ontwerp). De tweede casestudie is de toepassing van Reverse Osmosis (RO) en Zero Liquid Discharge (ZLD) op brakgrondwater voor de productie van zoetwater in het Westland. In deze casestudie is de huidige praktijk van lozen in de bodem vergeleken met lozen op zee (alternatief ontwerp) en de toepassing van ZLD-technologie op de geconcentreerde reststroom (innovatief ontwerp). Dit is uitgewerkt door middel van twee modellen: het missie-gedreven innovatiesystemen en het donut model voor de circulaire economie.

Over het geheel is het duidelijk dat het Donut Model voor de Circulaire Economie een bruikbare tool is om verschillende ontwerpalternatieven met elkaar te vergelijken op uiteenlopende waarde criteria. Het beeld wat uit deze analyse ontstaat, is een waardevol vertrekpunt voor het gesprek over of (en zo ja welk) ontwerpalternatief 'beter' is dan het huidige ontwerp. Vanwege de vele onzekerheden die er zijn rondom (duurzaam) energie- en grondstoffenverbruik, de financiën, en het hergebruik en adaptiviteit potentieel is het complex om een bepaald ontwerpalternatief duidelijk te verkiezen boven een ander ontwerpalternatief. Diverse onderdelen van de analyse zijn (of kunnen) namelijk niet op een vergelijkbaar detail niveau uitgewerkt worden, hetgeen een weerslag heeft op de kwaliteit van de analyse. Ook zijn een aantal (kwalitatieve) beoordelingen voor discussie vatbaar, waardoor de uitkomst van de beoordeling ook afhankelijk is van de groep mensen die hierover kennis ingebracht hebben. Daarnaast is er nog discussie mogelijk over de analyse zelf, bijvoorbeeld hoe dit document bijdraagt aan het beter begrijpen van de ontwerpalternatieven binnen het bestaande innovatiesysteem.

Het toepassen van de innovatieve technologiecombinatie van Reverse Osmosis (RO) en superkritische watervergassing op RWZI-effluent in de regio Alkmaar heeft duidelijke potentie maar kent ook uitdagingen. De potentie zit hem met name in de versterking van een lokale circulaire water-, afval- en energieketen, onder andere door terugwinning van demiwater, synthetisch gas en circulaire verwerking van C-hout. De uitdagingen van deze innovatie zitten met name in een hoog energie- en materiaalverbruik, afhankelijkheid van internationale grondstoffen, ruimteclaims en operationele risico's. Hoewel het ontwerp bijdraagt aan het beperken van zoetwaterschaarste en het verbeteren van waterkwaliteit, is er nog onvoldoende inzicht in de belangen van regionale stakeholders en de institutionele randvoorwaarden. Vervolgonderzoek is nodig om te bepalen of deze technologie daadwerkelijk de beste bijdrage levert aan het oplossen van lokale duurzaamheidsuitdagingen.

Het innovatieve ontwerp waarbij Reverse Osmosis (RO) en Zero Liquid Discharge (ZLD) worden toegepast in het Westland draagt aanzienlijk bij aan het realiseren van een circulaire waterketen, vooral door efficiënter watergebruik, hergebruik van geconcentreerde reststromen in de kas en het beperken van grondwateronttrekking, wat bodemdaling en verzilting tegengaat. Hoewel het ontwerp positieve effecten heeft op ecologie en veiligheid, brengt het ook nadelen met zich mee zoals hogere energie- en grondstoffengebruik, complexiteit van installaties en mogelijke ecologische risico's door anti-scalants. Het alternatieve ontwerp (lozing op zee) en de bestaande situatie scoren lager op circulaire en maatschappelijke winst. Voor succesvolle implementatie is het belangrijk om marktcreatie, stakeholderbetrokkenheid en aanpassing van regelgeving te stimuleren. RO en ZLD bieden perspectief voor de glastuinbouw, maar kunnen ook leiden tot een technologische lock-in, waardoor andere oplossingen zoals regenwateropslag of effectgebruik niet worden benut. Verdere verkenning van alternatieven is daarom essentieel.

De uitgewerkte analyses naar de positieve en negatieve bijdragen aan de circulaire economie dragen bij aan het zorgvuldig afwegen en bijsturen van innovaties en ontwikkelingen. De interpretatie van de resultaten binnen de context van het missie-gedreven innovatie systeem heeft voor beide casestudies inzicht gegeven in de ontwikkelingen binnen de context van de circulaire watersector. De context analyse wordt voor de casestudie Reverse Osmosis (RO) en Zero Liquid Discharge (ZLD) nog meegenomen naar een (nog te plannen) co-creatie sessie en zal gebruikt worden om concrete doelen en acties uit te zetten ter bevordering van de kansrijkheid van de technologie-innovatie. De uitkomsten van deze sessie (o.a. juridisch toekomstperspectief) zal nog worden bijgevoegd aan deze rapportage.

6 Bronvermelding

- [1] R. Elzinga, S. O. Negro, M. J. Janssen, J. H. Wesseling, and M. P. Hekkert, "Het Missie-gedreven Innovatiesysteem: Uitbreiding 'Technologisch Innovatie Systeem'-raamwerk ter monitoring van de Circulaire Economie," Aug. 2020, doi: 10.5281/ZENODO.4005752.
- [2] A. Segrave, H.-J. van Alphen, and K. Roest, "Operationalisering Circulaire Economie principe voor de waterketen," Nieuwegein, BTO 2020.020, Oct. 2020. Accessed: Jan. 07, 2025. [Online]. Available: <https://api.kwrwater.nl/uploads/2020/11/BTO-2020.020-Operationalisering-Circulaire-Economie-principe-voor-de-waterketen.pdf>
- [3] R. Hofman-Caris, "Afwegingen bij toepassing van zuiveringstechnieken in de Nederlandse drinkwaterproductie (KWR 2019.041)," 2019.
- [4] S. Kools, A. van Loon, R. Sjerps, and L. Rosenthal, "De kwaliteit van bronnen van drinkwater in Nederland (KWR 2019.072)," 2019.
- [5] L. de Waal, "Huidige en toekomstige praktijk van NF/RO concentraat management (BTO 2020.019)," 2020. [Online]. Available: www.kwrwater.nl
- [6] Nederlandse overheid, *Drinkwaterbesluit - Bijlage A*. 2023. [Online]. Available: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/2018-07-01#BijlageA>
- [7] "Evenwichtig sturen op de grondstoffentransitie en de energietransitie voor brede welvaart," Sep. 2022. Accessed: Feb. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.ser.nl/-/media/ser/downloads/adviezen/2022/grondstoffentransitie-energietransitie.pdf>
- [8] I. Wanzenbock, J. H. Wesseling, K. Frenken, M. P. Hekkert, and K. M. Weber, "A framework for mission-oriented innovation policy: Alternative pathways through the problem-solution space," *Sci Public Policy*, vol. 47, no. 4, Jul. 2020, doi: 10.1093/scipol/scaa027.
- [9] ir Matthijs Janssen, "Adviesnota monitoring en evaluatie missiegedreven innovatiebeleid".
- [10] Rijksoverheid, "Nederland circulair in 2050." Accessed: Feb. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/nederland-circulair-in-2050>
- [11] Suurs, "Towards a theory on the dynamics of technological innovation systems Motors of Sustainable Innovation," 2009.
- [12] M. P. Hekkert, S. Negro, G. Heimeriks, R. Harmsen, and S. de Jong, "Technological Innovation System Analysis A manual for analysts," 2011. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:12147593>
- [13] K. Roest, B. Romgens, HJ. van Alphen, and A. Segrave, "Stip op de horizon: Circulair Water 2050 (BTO 2020.062)," 2020.
- [14] A. Segrave, H.-J. van Alphen, and K. Roest, "Operationalisering Circulaire Economie principe voor de waterketen (BTO 2020.020)," 2020. [Online]. Available: <http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/11/BTO-2020.020-Operationalisering-Circulaire-Economie-principe-voor-de-waterketen.pdf>
- [15] PBL, "Circulaire economie: wat we willen weten en kunnen meten," 2018.
- [16] Kate Raworth, "What on Earth is the Doughnut?" Accessed: Feb. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.kateraworth.com/doughnut/>
- [17] Unie van Waterschappen, "Nieuwe Europese wetgeving goed voor de waterkwaliteit." Accessed: Feb. 29, 2024. [Online]. Available: <https://unievandwaterschappen.nl/nieuwe-europese-wetgeving-goed-voor-de-waterkwaliteit/>
- [18] H2O, "Steeds meer waterschappen geïnteresseerd in superkritische watervergassing," 2021. Accessed: Feb. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/steeds-meer-waterschappen-geïnteresseerd-in-superkritische-watervergassing>

- [19] Aquaduin, "Hergebruik van effluent voor de productie van infiltratiewater in het pompstation Torreele." Accessed: Feb. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.aquaduin.be/drinkwater/waterwinning/hergebruik>
- [20] SCW Systems, "Het proces van superkritische watervergassing." Accessed: Feb. 29, 2024. [Online]. Available: <https://scwsystems.com/het-proces-van-superkritische-watervergassing/>
- [21] Rijksoverheid, "Emissieregistratie." Accessed: Jan. 07, 2025. [Online]. Available: <https://data.emissieregistratie.nl/watson>
- [22] "Superkritische watervergassing › Gasunie." Accessed: Jan. 07, 2025. [Online]. Available: <https://www.gasunie.nl/projecten/superkritische-watervergassing>
- [23] "Gietwater: Glastuinbouw Waterproof." Accessed: Jan. 08, 2025. [Online]. Available: https://www.glastuinbouwwaterproof.nl/substraat/gietwater/#_
- [24] T. Regulering en Planadvisering, "Algemene regels Behorende bij de Keur Delfland," 2010.
- [25] B. Scholten, *Toekomstplan Gietwater Glastuinbouw - De Lier*. 2021. Accessed: Jan. 08, 2025. [Online]. Available: <https://greenportwestholland.nl/wp-content/uploads/2021/10/211004-Toekomstplan-Gietwater-def.pdf>
- [26] M. Elsing, "Bodemdaling door grondwateronttrekking in het Westland en omgeving".

Bijlage I Kenmerken Donut Model voor beoordeling technisch ontwerp in Circulaire Waterketen

Kenmerk Donut model	Uitleg kenmerk	Logica voor beoordeling van een technisch ontwerp of innovatie in een waterketen
Energie en stofstromen	Fysieke kenmerken	
Energieverbruik (warmte, elektriciteit, gas)	<i>Benodigde Informatie</i> Wat is het energieverbruik van het technisch ontwerp? Het gaat hierbij om het energieverbruik van de bouw van het technische ontwerp en de operatie van het ontwerp. Hierbij kan evt. ook gedacht worden aan het energieverbruik dat bespaard wordt doordat er <i>minder effluent getransporteerd en gezuiverd</i> (het water wordt lokaal opgevangen). Dit geldt ook voor de energie die bespaard wordt omdat er <i>minder drinkwater gewonnen, gezuiverd en gedistribueerd</i> hoeft te worden (het water wordt hergebruikt)	Dit Kenmerk is beoordeeld door te kijken naar het energieverbruik (gas, warmte en elektriciteit) van de verschillende ontwerpalternatieven. Het gaat daarbij om 1) De energie die verbruikt wordt voor de productie en transport van de materialen 2) Het energieverbruik tijdens de aanleg, operatie en het beheer van de installaties De scores die zijn toegekend voor dit kenmerk gaan over de <i>hoeveelheid</i> energie die wordt verbruikt. Lager energieverbruik betekent een hogere score (--/-/0/+/++). Met dit kenmerk worden ontwerpen en maatregelen die bijdragen aan de <i>reductie van het verbruik van energie</i> dus positiever beoordeeld.
Grondstoffen- en Waterverbruik	<i>Benodigde Informatie</i> Wat is het grondstoffen- en waterverbruik van het technisch ontwerp? Het gaat hierbij om het grondstoffen en waterverbruik van de bouw van het technische ontwerp en de operatie van het ontwerp. Hierbij kan evt. ook gedacht worden aan het grondstoffen- en waterverbruik dat bespaard wordt doordat er <i>minder effluent getransporteerd en gezuiverd</i> (het water wordt lokaal opgevangen). Dit geldt ook voor de grondstoffen die bespaard wordt omdat er <i>minder drinkwater gewonnen, gezuiverd en gedistribueerd</i> hoeft te worden (het water wordt hergebruikt)	Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar het grondstoffen- en waterverbruik van de verschillende ontwerpalternatieven. Het gaat daarbij om 1) De grondstoffen en het water dat wordt verbruikt wordt voor de productie van de materialen in de installaties 2) Het grondstoffen en het waterverbruik tijdens de aanleg, operatie en het beheer van de installaties De scores die zijn toegekend voor dit kenmerk gaan over de <i>hoeveelheid</i> grondstoffen en water dat wordt verbruikt. Lager grondstoffen en water betekent een hogere score (--/-/0/+/++). Met dit kenmerk worden ontwerpen en maatregelen die bijdragen aan de <i>reductie van het verbruik van water en grondstoffen</i> dus positiever beoordeeld.
Terugwinning Energie	<i>Benodigde Informatie</i> Welk type en hoeveel energie wordt er	Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar het (type) energie dat wordt teruggewonnen tijdens de

	teruggewonnen (biogas, groen gas of energie uit methaan) door het toepassen van het technisch ontwerp? Het gaat hierbij om de energie die wordt teruggewonnen tijdens de bouw van het technische ontwerp en de operatie van het ontwerp.	bouw en operatie van het technische ontwerp. De scores die zijn toegekend aan dit kenmerk gaan enerzijds over de <i>hoeveelheid</i> teruggewonnen energie, maar er wordt ook gekeken naar het <i>type</i> en de <i>kwaliteit</i> van de energie. In hoeverre is er sprake van terugwinning van energie dat kan worden benut in of voor andere toepassingen? Ontwerpen waarmee grotere hoeveelheden grondstoffen en water van hoogwaardige kwaliteit worden teruggewonnen worden krijgen een hogere score (--/-/0/+/>++). Met dit kenmerk worden ontwerpen en maatregelen die zorgen voor het nuttig toepassen van grondstoffen en water (door terugwinning, hergebruik en recycling) positiever beoordeeld.
Terugwinning grondstoffen en water	<i>Benodigde Informatie</i> Welk(e) (type) en hoeveel grondstoffen en/of water wordt er teruggewonnen door het toepassen van het technisch ontwerp? Het gaat hierbij om de grondstoffen en water die wordt teruggewonnen tijdens de bouw van het technische ontwerp en de operatie van het ontwerp.	Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar de (type) grondstoffen- en het water dat wordt teruggewonnen tijdens de bouw en operatie van het technische ontwerp. Op basis van berekeningen en beschikbare gegevens wordt ingeschat hoeveel grondstoffen en water in elk situatie wordt teruggewonnen voor de periode van 50 jaar. De scores die zijn toegekend aan dit kenmerk gaan enerzijds over de <i>hoeveelheid</i> teruggewonnen grondstoffen en water, maar er wordt ook gekeken naar het <i>type</i> en de <i>kwaliteit</i> van de grondstof. In hoeverre is er sprake van terugwinning van grondstoffen dat potentieel benut kan worden in of voor andere toepassingen? Hoe hoger het percentage van het totale grondstoffen- en waterverbruik (bijv. grijswater) of de kwaliteit van de grondstoffen of het water dat wordt teruggewonnen tijdens de bouw en de operatie voor de levensduur van het technisch ontwerp, hoe hoger de score (--/-/0/+/>++).
Gebruik duurzame energie	<i>Benodigde Informatie</i> Wat is het duurzame energieverbruik van het technisch ontwerp? Het gaat hierbij om het energieverbruik tijdens de bouw van het technische ontwerp en de operatie van het ontwerp.	Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar het percentage van de totale hoeveelheid van het energieverbruik met duurzame energie (windenergie, zonne-energie, waterkracht, aard- en bodemwarmte, groene waterstof, duurzame biomassaastroom) is ingevuld. Hoe hoger het percentage aan duurzame energie, hoe hoger de score (--/-/0/+/>++). Met dit kenmerk worden ontwerpen en maatregelen die ervoor zorgen dat er minder grijze energie gebruiken beter beoordeeld.

Gebruik duurzame grondstoffen en water	<i>Benodigde Informatie</i> Wat is het grondstoffen en waterverbruik dat met hergebruikte materie is ingevuld? Het gaat hierbij om het grondstoffen en waterverbruik van hergebruikte materie tijdens de bouw van het technische ontwerp en de operatie van het ontwerp. Dus om materialen en grondstoffen die gebruikt worden voor de installaties en het water dat het systeem ingaat.	Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar het percentage van de totale hoeveelheid van de grondstoffen en water dat met hergebruikte materie is ingevuld. Hoe hoger het percentage aan hergebruikte materie, hoe hoger de score (--/-/0/+). Met dit kenmerk worden ontwerpen en maatregelen die ervoor zorgen dat er minder grondstof of waterreserves hoeven worden aangeboord (en mogelijk uitgeput) beter beoordeeld. Het gaat dus om het <i>vervangen</i> of een <i>substituut</i> van een primaire grondstof.
Systeemeigen schappen	Kenmerken op systeemniveau	
Zelfvoorzienendheid	<i>Benodigde Informatie</i> Beschrijf in hoeverre het toepassen van het technische ontwerp er voor zorgt dat waterschappen, waterbedrijven, de gemeente en/of burgers minder afhankelijk zijn van andere organisaties, landen en bronnen voor de toevoer van grondstof en energie.	Dit Kenmerk is beoordeeld door te kijken naar de mate waarin gebruikers of beheerders (bedrijven, waterschappen, waterbedrijven, de gemeente en/of burgers) voor het beheer van het technische ontwerp afhankelijk zijn van andere organisaties, landen en bronnen voor de toevoer van grondstof en energie. Hoe minder afhankelijk de beheerders/gebruikers zijn van andere locaties, landen, mensen enzovoort, hoe hoger de score (--/-/0/+).
Hergebruiks potentie en Adaptiviteit	<i>Benodigde informatie</i> Beschrijf in hoeverre het technische ontwerp is gebouwd is op basis van modulaire of 'cradle-to-cradle principes', waardoor onderdelen van het ontwerp eenvoudig weer elders toegepast of hergebruikt kunnen worden. Het gaat hierbij om de adaptiviteit en flexibiliteit van (de onderdelen) van het technische ontwerp. In hoeverre zijn onderdelen aanpasbaar, veelzijdig, vervangbaar, omvormbaar, schaalbaar of verplaatsbaar?	Dit Kenmerk is beoordeeld door te kijken naar de mate waarin de ontwerpen zijn gebouwd op basis van modulaire of 'cradle to cradle principes', waardoor onderdelen van het ontwerp eenvoudig elders kunnen worden toegepast. Er is gekeken naar de aanpasbaarheid (verandering van taak), veelzijdigheid (verandering van ruimte), vervangbaarheid (verandering van prestatie), omvormbaarheid (verandering van gebruik), schaalbaarheid (verandering van formaat) en verplaatsbaarheid (verandering van locatie) van (onderdelen van) het technische ontwerp. Daarbij geldt, hoe meer adaptief, flexibel en modulair het technische ontwerp, hoe hoger de score (--/-/0/+). Met dit kenmerk wordt de economische levensduur van het technisch ontwerp verlengt.
Financiële waarde	<i>Benodigde informatie</i> Beschrijf in hoeverre het technische ontwerp bijdraagt aan het betaalbaar houden van de waterketen (drinkwaterprijs en waterschapsbelasting). In hoeverre worden 'de vervuiler betaalt' en 'de belanghebbende betaalt' toegepast in het verdienmodel van het	Dit kenmerk is beoordeeld door een schatting te maken van de investeringskosten van de technische ontwerpen voor het gebruik van de ontwerpen voor een periode van 20 jaar van het technische ontwerp. Energieverbruik, grondstoffen en personeelskosten e.d. zijn daarbij niet meegenomen (RHDHV kostencalculator)

	technische ontwerp? In hoeverre worden kosten (schade) in de toekomst of elders afgewend door het technische ontwerp?	Hoe hoger de investeringskosten, hoe lager de score (--/-/0/+/>++).
Integraliteit	<i>Benodigde informatie</i> Beschrijf in hoeverre het technische ontwerp bijdraagt aan het oplossen van uitdagingen in andere sectoren (energie, adaptatie, voedsel, mobiliteit en klimaat).	Dit Kenmerk is beoordeeld door te kijken naar het aantal doelen waar het technische ontwerp een bijdrage aan levert of uitdagingen waarvoor het een oplossing voor aandraagt (zoals de energietransitie, klimaatadaptatie, voedselproductie, natuurbescherming, mobiliteit, klimaat).
Ecologische waarde (Milieu; emissie naar bodem, lucht en water)	<i>Benodigde informatie</i> Beschrijf in hoeverre het technische ontwerp bijdraagt aan het verbeteren of de ontwikkeling van de ecologische kwaliteit van (lokale) natuur- en watersystemen of (bescherming levert aan) de biodiversiteit. In deze studie kijken we naar emissies (chemische componenten of ook geluid) naar bodem, lucht en water.	Het kenmerk ecologische waarde is in deze analyse beoordeeld door de kijken naar de schade die toe wordt toegebracht aan ecosystemen door emissies die worden uitgestoten naar bodem, water en/of lucht (zowel lokaal als mondiaal). Hoe hoger de schade die wordt toegebracht aan ecosystemen door emissies naar bodem, water en/of lucht (zowel lokaal als mondiaal), hoe lager de score.
Waarden voor Mensen	Sociaal politieke kenmerken	
Volksgezondheid	<i>Benodigde informatie</i> Beschrijf in hoeverre het toepassen van het technische ontwerp meer, minder of gelijke risico's voor de volksgezondheid met zich meebrengt. Dit kan te maken hebben met een specifieke toepassing van het ontwerp of voor de gehele waterketen.	Dit kenmerk is beoordeeld door te kijken naar de mate waarin het toepassen van het technische ontwerp meer, minder of gelijke risico's voor de volksgezondheid met zich meebrengt. Het bewaken van de risico's voor de volksgezondheid is essentieel voor het sociaal fundament en is daarmee belang voor de circulariteit van de waterketen. Hoe lager het risico op ziekte en hoe meer bevorderend het technische ontwerp is voor de volksgezondheid, van mensen zowel lokaal als mondiaal (MvO) tijdens de aanleg, operatie en beheer voor de levensduur van het technische ontwerp, hoe hoger de score (--/-/0/+/>++).
Veiligheid	<i>Benodigde informatie</i> Beschrijf in hoeverre het toepassen van het technisch ontwerp meer, minder of gelijke risico's voor de (water)veiligheid met zich meebrengt. Dit kan te maken hebben met een specifieke toepassing van het ontwerp of voor de gehele waterketen.	Voor dit kenmerk is gekeken naar de mate waarin het toepassen van het technische ontwerp risico's voor de (water)veiligheid met zich meebrengt. Daarbij kan het gaan om overstromingsrisico's, ontploffingsrisico's, slachtofferrisico's, risico's van bodemdaling en daarmee samenhangende economische risico's. Hoe minder risico's ten aanzien van de veiligheid hoe hoger de score (--/-/0/+/>++).
Inclusiviteit	<i>Benodigde informatie</i>	Voor dit kenmerk is gekeken naar de mate waarin met het technische ontwerp sociale

	Beschrijf in hoeverre het toepassen van het technisch ontwerp sociale groepen betreft bij het gebruik van de toepassing, lokale kennis benut of zorgt voor een toename van het bewustzijn over de waterketen of water-gerelateerde uitdagingen.	(belangen) groepen of burgers worden betrokken bij het gebruik van de toepassing, lokale kennis wordt benut of het waterbewustzijn wordt vergroot. Hoe hoger de mate van <i>participatie</i> (hoger op de participatieladder), <i>pluralisme</i> (diversiteit aan culturele en sociale (belangen)groepen die betrokken zijn), en <i>bewustzijn</i> (de mate van kennis over de waterketen), lokale kennis benutten, hoe hoger de score (--/-/0/+ / ++).
Comfort	<i>Benodigde informatie</i> Beschrijf in hoeverre het toepassen van het technisch ontwerp zorgt voor meer comfort bij gebruikers of omwonenden door te ontzorgen, het verminderen/voorkomen van overlast, verhoogd gebruiksgemak of grotere klanttevredenheid.	Voor dit kenmerk is beoordeeld in hoeverre het technisch ontwerp zorgt voor meer comfort bij gebruikers of omwonenden door te ontzorgen, het verminderen/voorkomen van overlast, verhoogd gebruiksgemak of grotere klanttevredenheid.
Kwaliteit van de leefomgeving	<i>Benodigde informatie</i> Beschrijf in hoeverre het toepassen van het technisch ontwerp de kwaliteit van de leefomgeving beïnvloedt. Zorgt de constructie, bouw of plaatsing van het technische ontwerp in de ruimtelijke omgeving voor een meer of minder aantrekkelijke plek? Neemt het technische ontwerp veel of weinig (openbare) ruimte in beslag?	Voor dit kenmerk is gekeken naar de kwaliteit van de leefomgeving in boven en ondergrond. Zorgt de constructie, bouw of plaatsing van het technische ontwerp in de ruimtelijke omgeving voor een meer of minder aantrekkelijke plek? Neemt het technische ontwerp veel of weinig (openbare) ruimte in beslag? Hoe hoger het geestelijke (geluk), lichamelijke en sociale welbevinden van mensen, als resultaat van een aantrekkelijke (esthetische en culturele aspecten) en gevarieerde openbare ruimte die voorziet in prettig wonen en recreëren (belevingswaarde), hoe hoger de score (--/-/0/+ / ++).

Bijlage II Informatieverzameling ZLD

Draaiuren 1000 uur per jaar
 Energie € 0,10 €/kWh
 Levensduur € 25,00 jaar

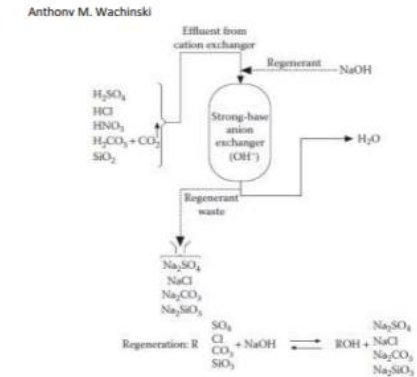
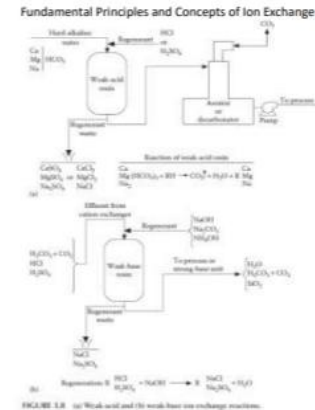
Diameter concentratieleiding
 Volumestroom 11 m³/h
 Watersnelheid 1 m/s
 Oppervlak 0,0031 m²
 Diameter 62 mm
 80 mm RHDHV

1000 uur van de 8760 uur/jaar in bedrijf

Investeringskosten	Ontwerp	Investering	energie kWh/m ³	chem €/jaar	hars €/jaar
Retourput	Winput 35 m diep	€ 35.259	0,04 €	72	
	Retourput 75 m diep	€ 58.995			
	RO 24 l/m ² /h	€ 52.363	0,8 €	1.440 €	29
	Subtotaal 458 m ²	€ 146.617	€ 1.512	€ 29	€ 0,39

Lozen op zee	Winput 35 m diep	€ 35.259	0,04 €	72	
	Leiding 7 km, 80 mm	€ 2.080.000	geen, op druk concentraat		
	RO 24 l/m ² /h	€ 52.363	0,8 €	1.440 €	29
	Subtotaal 458 m ²	€ 2.167.622	€ 1.512	€ 29	€ -

ZLD	Winput 35 m diep	€ 35.259	0,04 €	44	
	IEX 1 7 m ³ /h	€ 8.004	0,04 €	44 €	227 € 64
	Beluchter 7 m ³ /h	€ 13.869	0,06 €	66	
	IEX 2 7 m ³ /h	€ 8.004	0,04 €	44 €	227 € 64
	IEX 3 7 m ³ /h	€ 8.004	0,04 €	44 €	227 € 64
	3 regeneraatspompen 7 m ³ /h	€ 2.270	0,34 €	375	
	Kristallisator (2% flow) 0,14 m ³ /h	€ 19.740	2,88 €	40	met MED
	Verdamper (20% flow) 1,4 m ³ /h	€ 131.600	2,88 €	403	met MED
	RO 17 l/m ² /h	€ 56.550	0,8 €	560 €	29
	Subtotaal 329 m ²	€ 283.300	€ 7,12	€ 1.621	€ 709 € 192 € 900



WAC ont SAC WBA

TABEL 4: TOTAAL ENERGIEVERBRUIK (THERMISCH & ELECTRISCH) VOOR COMMERCIEEL TOEGEPASTE ONTZOUTINGSTECHNIKEN OP GROTE SCHAALE (BWRO – BRAK WATER OMGEKEERDE OSMOSE, SWRO – ZEEWATER OMGEKEERDE OSMOSE) MSF = MULTI-STAGE FLASH DESTILLATIE, MED = MULTI-EFFECT DESTILLATIE)

Ontzoutingstechniek	BWRO	SWRO	MSF	MED
Totaal energieverbruik (kWh/m ³)	0,5 - 2,5	3 - 4	10 - 16	5,5 - 9

16/2,5
11/1,4

6,4 Verschil energieverbruik RO/MSF
7,9 Kleiner concentraat

[Hangzhou Cema Instrument Co., Ltd.](#)

Trading Company

ODM New Arrival V3.0 Turnkey Solution Falling Film Evaporator 350L/hr

>> 1 sets

\$35,000.00 set1 sets(100%)

Dollarkoers 0,94



Bijlage III Informatieverzameling superkritische water vergassing

Pyrolyse					
	In-/ uitgaande stromen	C			
10	C-hout	150000	Ton/year		obv aanname Luuk productietijd en productievolume
11	Organische stof	117000	Ton C/year		obv organisch component aanname
12	C-hout	20	Ton/hour		=C10/C24
13	Energie in	3307500	GJ/Jaar	energieverbruik pyrolyse per jaar	obv aanname productievolume en STOWA 2015 rapport
14	Energie in	122500	kW		obv aanname productievolume en STOWA 2015 rapport
15	Energie uit (restwarmte)	1323000	GJ/Jaar	warmteopwekking flash pyrolyse bij voorbehandeling van C-hout die vanwege >10 MJ/kg calorische waarde van C-hout niet ingezet hoeft te worden voor droging van de voedingsstroom en dus nuttig ingezet kan worden	obv aanname productievolume en STOWA 2015 rapport
16	Biochar	38025	Ton/year	For resale if possible	Resultaat van berekeningen =C11*G29
17	Biochar landfill disposal @200€/ton	7605000	€/jaar	In case of landfill disposal	Resultaat van berekeningen =C16*200
18	Bio oil	78975	Ton/year	To gassification	Resultaat van berekeningen
19					=G28*C11
20	Bio oil	10,53	Ton/hour		Resultaat van berekeningen
21					=C18/C24
22					
23	Uitgangswaarden				
24	Productietijd	7500	Uur/jaar		
25	Prijs biochar	400	Euro/ton		STOWA 2015 rapport
26	Org component C-hout	78%			Aanname obv 80% ds en 98% organisch
27	Efficientie warmte pyrolyse	40%			STOWA 2015 rapport
28	Biomassa wordt omgezet in gassen	60%-75%	Gebruikt gemiddeld e	67,50%	STOWA 2015 rapport
29	Biomassa wordt omgezet in kool	25%-40%	Gebruikt gemiddeld e	32,50%	STOWA 2015 rapport
30					
31	Referentie systeem				
32	Financieel				
33	Bouwkosten pyrolyse installatie	350000	euro		STOWA 2015 rapport
34	Bouwkosten voor naverbrandingsinstallatie en actief kool filtratie van rookgassen	150000	euro		STOWA 2015 rapport
35	Investeringskostenkosten pyrolyse installatie 350000 voor bouw. Factor 2 voor leidingwerk, besturing, eenvoudige civiele constructie (betonnen plaat met afdekking), risico, winst, BTW en overige bijkomende kosten	700000	euro		obv investeringskosten zijn 2 maal de bouwkosten
36					=C33*2
37	Investeringskosten voor naverbrandingsinstallatie en actief kool filtratie van rookgassen. Factor 2 voor leidingwerk, besturing, eenvoudige civiele constructie (betonnen plaat met afdekking), risico, winst, BTW en overige bijkomende kosten	300000	euro		obv investeringskosten zijn 2 maal de bouwkosten
38					=C34*2
39	Totale CAPEX	1000000	euro		Resultaat van berekeningen
40					=SUM(C35:C37)
41	Kosten voor beheer en onderhoud van de pyrolyse installatie zijn EUR 40.000 per jaar	40000	euro/jaar		STOWA 2015 rapport
42	Variabele kosten bedragen EUR 25.000 per jaar (elektriciteit, afvoer restslakken, koolfilter)	25000	euro/jaar		STOWA 2015 rapport
43	Totale OPEX	65000	euro/jaar	Op basis van beheer en onderhou en variabele kosten, niet meegenomen zijn personeelskosten en energie kosten omdat die een interne stroom zijn binnen de installatie	Resultaat van berekeningen
44					=SUM(C41:C42)
45					
46	Grootte referentiesysteem				
47	Droge stof	1984,5	ton/jaar		STOWA 2015 rapport

48	TOC gehalte in slib (420 mg/g ds)	42,00%	%		STOWA 2015 rapport
49	Totaal C	833,49	Ton C/jaar		Resultaat van berekeningen
50					=C47*C48
51	Warmte uit pyrolyse	350	kW		STOWA 2015 rapport
52					
53					
54	Teruggerekend per Ton C/Year				
55	CAPEX per Ton	1199,77	euro		Resultaat van berekeningen obv van investeringskosten
56					=C39/C49
57	OPEX per Ton	77,99	euro/jaar		Resultaat van berekeningen obv operationele kosten
58					=C43/C49
59					
60	Financial				
61	CAPEX	140373610	euro		Resultaat van berekeningen obv CAPEX per ton
62					=C54*C11
63	OPEX without biochar landfill disposal	9124285	euro/jaar		Resultaat van berekeningen obv OPEX per ton =C56*C11
64	OPEX with biochar landfill disposal	16729285	euro/jaar		Resultaat van berekeningen obv OPEX per ton =C63-C17
65	Revenu with biochar resale	11863800	euro/jaar	Het is onzeker of de zuiverheid van de bio-char (vanwege C-hout als uitgangsstof, C-hout heeft verf/spijkers etc) voldoende zal zijn om idd die 400 euro/ton te ontvangen voor biochar. Hierdoor word biochar niets als verkoopbaar product gerekend verder, alleen word er gerekend op kosten neutrale verbranding in een energie centrale	Resultaat van berekeningen obv biochar prijs en volume =C26*G29*C25*C11
66	Revenue sales of energy	0	euro/jaar		Resultaat van berekeningen zonder biochar (geen revenu van productie stap)
67					
68	Vergassing				
69	In-/ uitgaande stromen				
70	Bio oil	10,53	Ton/hour		Resultaat van berekeningen obv gemiddelde yield aanname
71					=C18/C24
72	RO concentraat tijdens productie vergasser	26,325	Ton/hour		Resultaat van berekeningen obv 40% tov volume Effluent moet organisch zijn
73					=2,5*C70
74	Total feed vergasser	36,855	Ton/hour		Resultaat van berekeningen
75					=SUM(C70:C71)
76	Total energy consumption vergassing	91125	GJ/year	Energie benodigd voor vergassing is grotendeels herbruik, dit is rond de 80% efficient. Dit betekend dat de totale energie benodigd word vermindert met 80%.	Resultaat van berekeningen en aanname energie is 50% efficient te winnen uit syngas
77					=C120*C90*C119*2
78	Restwarmte van pyrolyse	1323000	GJ/Jaar	High quality energy, used with 90% efficiency for gassification, rest for sale	obv aanname productievolume en STOWA 2015 rapport
79	Energie benodigd voor pyrolyse	3307500	GJ/Jaar		obv aanname productievolume en STOWA 2015 rapport
80	Zoutstroom	990	Ton/year		Resultaat van berekeningen
81					=C88*(1-C178)^-1*C12*C24/1000
82					
83	Uitgangswaarden				
84	Verbrandingswarmte C hout	13,9	GJ/ton	Calorische waarde C-hout bij 80% ds, gecorrigeerd voor hogere inerte fractie	Expert input HVC
85	Verbrandingswarmte C hout totaal	2082857	GJ/jaar		
86	Organische fractie		van volume natte fractie		SCW systems
87	Zout in RWZI effluent gemiddeld	0,66	gram/L		Watson 2014-2018
88	Onderwaarde calorische waarde aardgas	31,65	MJ/m3		https://www.joostdevree.nl/shtmls/calorische_waarde.shtml
89	Productietijd	7500	hour/year		
90	CH4 productie per reactor per uur		Nm3/hour	gas production per reactor	SCW systems
91	CO2 productie per reactor per uur		Nm3/hour	gas production per reactor	SCW systems
92	CH4 productie per reactor per jaar		Nm3/hour	gas production per reactor	SCW systems
93	CO2 productie per reactor per jaar		Nm3/hour	gas production per reactor	SCW systems
94					
95	Referentie systeem 1 voor de revenue en grootte				
96	Financieel				
97	Prijs on-spec groen gas		euro/Nm3		SCW systems

98	'income' from gas production		euro/year		SCW systems
99	'income' from gas production		Million euro/year		SCW systems
100					
101	Groote referentie systeem				
102	CH4		Nm3/year	on-spec gas (CH4) produced per year after CO2 separation using 1050000 tons/year as feedstock	SCW systems
103	CO2		amount of CO2 in gas produced		SCW systems
104	Total		Nm3/year	off gas produced per year (so before CO2 separation)	SCW systems
105	# of reactors required to produce off-spec gas				SCW systems
106	Feed of water (RO concentrate)		ton/hour		SCW systems
107	Feed of wood-oil (from pyrolysis)		ton/hour		SCW systems
108	Total feed to reactors		ton/hour		SCW systems
109	Total feed to reactors		ton/year		SCW systems
110					
111	Teruggerekend naar reactor				
112	Feed per reactor per hour		ton/hour		Resultaat van berekeningen
113					=C116/C89
114	Gas production per reactor		Nm3/year		SCW systems
115	Feed per reactor		ton/year		Resultaat van berekeningen
116					=C109/C105
117					
118	-> Groote systeem en opbrengst vergasser				
119	# reactoren				Resultaat van berekeningen
120					=C74/C112
121	# of reactoren				Naar boven afgerond
122	Energy consumption of SCV reactor (capacity?) Amount of reactors to treat big volumes?		GJ/hour		SCW systems
123	CH4 after separation		Nm3/year	on-spec gas (CH4) produced per year (so after CO2 separation) using case study amount of feed	Resultaat van berekeningen
124					=C102/C108*C74
125	Total caloric value on-spec gas		GJ/year		Resultaat van berekeningen
126					=C122*C88/1000
127	Total energy consumption vergassing		GJ/year		Resultaat van berekeningen en aanname energie is 50% efficient te winnen uit syngas
128					=C121*C89*C120*2
129	Total on-spec coloric value for sale		GJ/year		Resultaat van berekeningen
130					=C124-C126-C13
131	Total m3 on-spec gas		Nm3/year	on-spec gas (CH4) produced per year (so after CO2 separation) deducting energy for pyrolyse and operation of plant	Resultaat van berekeningen
132					=C128*1000/C88
133	'income' from gas production		euro/year		Resultaat van berekeningen
134					=C97*C122
135	'income' from gas production		Million euro/year		Resultaat van berekeningen
136					=C132/1000000
137	Percentage syngas not consumed in operations				Resultaat van berekeningen
138					=1-(C128/C124)
139	Totaal teruggewonnen energie		GJ/year		Resultaat van berekeningen
140					=C124+C15
141					
142					
143	Referentie systeem 2 voor CAPEX estimation				
144	Installatie 1 ton per uur	2900000	Euro		1 STOWA 2015 rapport
145	Installatie 3,8 ton per uur	6400000	Euro		3,8 STOWA 2015 rapport
146	Projected price of 37 ton	47718750	Euro	36,855	Resultaat van berekeningen
147					=((E145-E143)*(C144-C143))/(E144-E143)+C143
148					
149					
150	Financieel				
151	To run the factory 24/7 will result in 15 Full Time Employees, 5 shifts, 7 days.	15	FTE		Aanname Luuk

					Als we kijken naar de Technisch opzichter salarisstatistieken in Nederland op 7 februari 2024, dan maakt de vertegenwoordigde werknemer € 48.264; om preciezer te zijn is het salaris € 4.022 per maand, € 1.006 per week of € 26,46 per uur. We hebben de arbeidsmarkt voor dit beroep uitgebreid onderzocht en gemiddelde waarden vastgelegd. Salarissen kunnen variëren, afhankelijk van waar u werkt. Bij het vastleggen van een gemiddeld loon is het laagste jaarsalaris € 48.072 en het hoogste tarief € 48.468.
152	Exploitatiekosten SCV	48264	euro/jaar per FTE		
153	25% van exploitatiekosten zijn personele kosten	25%	%		Aanname Luuk
154	Exploitatiekosten SCV	2895840	euro/jaar		Resultaat van berekeningen
155					= (C151 * C152) / C153
156	OPEX	2895840	euro/jaar		Resultaat van berekeningen
157					= (C151 * C152) / C153
158	CAPEX	47718750			Resultaat van berekeningen
159					= ((E145 - E143) * (C144 - C143) / (E144 - E143) + C143)
160	Revenu from leftover gas		euro		Resultaat van berekeningen
161					= C131 * C97
162	Total energy consumption vergassing en pyrolyse		GJ		Resultaat van berekeningen
163					= C127 + C13
164					
UF					
166	In-/uitgaande stromen				
167	Ruw water	2200	m3/uur		Gegeven van RWZI
168	Electra	0,1	kWh/m3		Voor kosten worden de totale kosten van de RHDHV kosten calculator gebruikt
169	Voorbehandeld water	2000	m3/uur		Expert judgement
170	Afval water	200	m3/uur		Expert judgement
171					
172	Uitgangswaarden				
173	Productietijd	58,4	minuut/uur		Expert judgement
174	Spoeltijd	1,6	minuut/uur		Expert judgement
175	Flux	23	lm2/h		Expert judgement
176	Terugspoelflux	92	lm2/h		Expert judgement
177					
178	Financieel				
179	Kosten chemie	481255	Euro/jaar		RHDV kostencalculator
180	CAPEX	28468000	Euro		RHDV kostencalculator
181	OPEX	3751000	Euro/jaar		RHDV kostencalculator
182	Revenu	-	Euro/jaar		Geen revenu te alloceren
183					
RO					
185	In-/uitgaande stromen				
186	Voorbehandeld water	2000	m3/uur		Expert judgement
187	Electra	0,32	kWh/m3		Voor kosten worden de totale kosten van de RHDHV kosten calculator gebruikt
188	RO permeaat	1800	m3/uur		Expert judgement
189	Concentraat	200	m3/uur		Expert judgement
190	Concentraat verwerkt in vergasser	10%			Mogelijk obv beschikbaar c-hout
191	Elektra totaal UF+RO	23220	GJ/jaar		Resultaat van berekeningen
192					= (C187 * C169 + C167 * C168) * C24 * 3600 / 1000000
193	Uitgangswaarden				
194	Recovery	90%			Expert judgement
195	Prijs m3 demiwater	0,75	€/m3		Expert judgement
196					
197	Financieel				
198	Kosten chemie	€ 87.337	Euro/jaar		RHDV kostencalculator
199	CAPEX	€ 31.026.000	Euro		RHDV kostencalculator
200	OPEX	€ 4.087.000	Euro/jaar		RHDV kostencalculator
201	Revenu	€ 10.125.000	Euro/jaar		Resultaat van berekeningen
202					= C195 * C188 * C89
203					

Totaal innovatief ontwerp- alternatief					
205	CAPEX		€		Resultaat van berekeningen
206					=C199+C180+C158+C61
207	OPEX		€/jaar		Resultaat van berekeningen
208					=C200+C181+C156+C63
209	Revenu WITHOUT biochar		€/jaar		Resultaat van berekeningen
210					=C201+C160+C65
211	Profit WITHOUT biochar		€/jaar		Resultaat van berekeningen
212					=C209-C207
213	Breakeven punt	13,5	Jaar		Resultaat van berekeningen
214					=C205/(C209-C207)
215	Revenu WITH biochar		€/jaar		Resultaat van berekeningen
216					=C201+C160+C65
217	Profit WITH biochar		€/jaar		Resultaat van berekeningen
218					=C215-C207
219	Breakeven punt WITH BIO CHAR	8,2	Jaar		Resultaat van berekeningen
220					=C205/(C215-C207)
221					
222					
Totaal alternatief ontwerp alternatief					
224	CAPEX	€ 59.494.000	€		Resultaat van berekeningen
225					=C199+C180
226	OPEX	€ 7.838.000	€/jaar		Resultaat van berekeningen
227					=C200+C181
228	Revenu	€ 10.125.000	€/jaar		Resultaat van berekeningen
229					=C201
230	Profit	€ 2.287.000	€/jaar		Resultaat van berekeningen
231					=C228-C226
232	Breakeven punt	26,0	Jaar		Resultaat van berekeningen
233					=C224/(C228-C226)

Bijlage IV Aannames rekenfile superkritisch vergassen

- Energie die het kost om installatie te bouwen is lastig in te schatten door afhankelijkheid van heel veel factoren. Derhalve is deze (eenmalige) energie-input niet meegenomen in de beoordeling van de scenario's.
- Productietijd is 7500 uur/jaar.
- C-hout voeding is 20 ton/uur.
- C-hout is 78% organische stof.
- C-hout word omgezet voor 67,5% in bio-olie en 32.5% biochar, op basis van de gemiddelde waardes in het STOWA 2015 rapport.
- Er word aangenomen dat het gevormde kool vanuit de pyrolyse niet vermarkt kan worden als biochar en dat het kostenneutraal afgevoerd kan worden als brandstof naar de BEC.
- Investeringskosten van de pyrolyse installatie zijn 2 maal de bouwkosten.
- Restwarmte van de pyrolyse installatie is van dusdanig lage kwaliteit dat het niet nuttig hergebruikt kan worden.
- Het energieverbruik van de vergasser is gebaseerd op syngas en een 50% efficiëntie (dus deels elektrisch met een rendement van 40% en hoogwaardige warmte).
- Prijs van de vergassingsinstallatie is gebaseerd op aanname dat de 1 en 3.8 tons installatie kosten opschalen naar 37 ton.
- Er is 15 FTE nodig voor het bedrijven van de vergassingsinstallatie.
- 25% van de exploitatiekosten zijn personeelskosten.
- De UF en RO installatie zijn gedimensioneerd door een expert van KWR, uitkomst is een UF installatie met 200m³/u spoelverlies, 2000m³/u voorbehandeld water, en
- De RO installatie heeft een 90% recovery en 10% van deze geconcentreerde reststroom wordt verwerkt in de vergasser.
- Er wordt aangenomen dat alle zouten, OMV's en organische vervuiling van het effluent in de geconcentreerde reststroom van de RO terecht komen.
- De prijs van RO permeaat is 0,75 €/m³
- RWZI effluent bevat gemiddeld 0,66 g/l zout (Watson 2014-2018)