

BTO 2018.028 | Mei 2018

BTO rapport

Regenwater als bron
voor drinkwater;
productiekosten en
milieuaspecten

BTO

**Regenwater als bron voor drinkwater;
productiekosten en milieuaspecten**

BTO 2018.028 | Februari 2018

Opdrachtnummer

401836/001

Projectmanager

Erwin Beerendonk

Opdrachtgever

BTO - Speerpuntonderzoek

Kwaliteitsborger(s)

Emile Cornelissen

Auteur(s)

Roberta Hofman-Caris, Luuk de Waal

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten.

Een jaar na publicatie is het openbaar.

Jaar van publicatie
2018

Meer informatie
dr.ir. Roberta Hofman-Caris
T 030-6069674
E roberta.hofman-caris@kwrwater.nl

Keywords

Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR *Watercycle
Research
Institute*

BTO 2018.028 | Mei 2018 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag 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, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

CONCEPT

BTO Managementsamenvatting

Kleinschalige waterzuivering: kleine milieuwinst, maar praktische obstakels

Auteur(s) dr.ir. Roberta Hofman-Caris, Luuk de Waal MSc

Productie van drinkwater uit opgevangen regenwater op wijkniveau is iets beter voor het milieu dan centrale drinkwaterzuivering. Dit blijkt uit berekeningen met zowel Total Costs of Ownership (TCO) als Levenscyclusanalyse (LCA) voor twee zuiveringsscenario's. Bij een individuele woning is de milieu-impact van regenwater als drinkwater ongeveer vergelijkbaar met die van de centrale zuivering, alleen liggen de kosten (veel) hoger. Daarnaast zijn er enkele praktische obstakels. Zo kan in dichtbevolkte stadswijken onvoldoende neerslag worden opgevangen om alle inwoners van genoeg drinkwater te voorzien. Bij een individuele woning voor een gemiddeld huishouden kan dit alleen wanneer het dak van de woning minstens drie tot vier keer zo groot is als een gemiddeld dak. Bovendien is veel ruimte nodig voor opslag van voldoende water om ook droge periodes te kunnen overbruggen. Met name in stadswijken is dit een probleem.

Zuivering	Totale Kosten (€/m ³) (excl. Kosten voor behandeling afvalstromen)	Mogelijke besparing bij opvang en behandeling regenwater (€/m ³)	Milieu-impact (mPt/m ³)
Op wijkniveau	2,70 – 3,50	1,6	13
Individuele woning (opvang in gesloten buffervat)	111	4,5	29
Individuele woning (opvang in open vijver)	64	2,7	29
Centrale zuivering	1.95*)	0	38

*)Huidige totale kosten voor een inwoner van Amsterdam, inclusief vastrecht en BTW. Deze laatste kosten zijn in de productiekosten op wijkniveau en voor een individuele woning niet meegerekend.

Milieu-impact en productiekosten van decentrale zuivering versus centrale zuivering in Leiduin

Belang: inzicht in praktische haalbaarheid van neerslag als bron voor drinkwater

Het beeld bestaat dat drinkwater maken uit opgevangen neerslag beter zou zijn voor het milieu, en mogelijk ook goedkoper dan centrale drinkwaterproductie. Maar klopt dit beeld met de werkelijkheid, en wat zijn eventuele praktische problemen bij het gebruik van regenwater?

Aanpak: berekening van Total Costs of Ownership (TCO) en Levenscyclusanalyse (LCA)

Voor twee situaties – een nieuwbouwwijk in Centrumeiland en een individuele woning in het buitengebied (Holysloot) – heeft KWR decentrale

zuivering doorgerekend. Gekozen is voor twee zuiveringsscenario's per situatie; het ene gebaseerd op omgekeerde osmose, het andere op geavanceerde oxidatie. Bij de individuele woning werd zowel een open als een gesloten opvangvat doorgerekend. Berekeningen vonden plaats met een TCO en een LCA. In de wijk ging het om de vraag voor hoeveel mensen hier drinkwater geproduceerd zou kunnen worden en hoeveel oppervlak nodig is voor wateropslag. Voor het woonhuis moest het minimale dakoppervlak worden berekend, evenals de afstand tot het centrale drinkwaterleidingnet waarbij berekend is

of aansluiting hierop duurder is dan een individuele zuivering.

Resultaten: kleine milieuwinst, hoge kosten

Bij gebruik van groene energie blijkt kleinschalige zuivering op wijkniveau een kleinere milieu-impact te hebben dan centrale drinkwaterproductie. Voor een individuele woning in het buitengebied is de milieuwinst kleiner. Op wijkniveau liggen de productiekosten iets hoger dan bij centrale zuivering. Een probleem is wel dat slechts voor de helft van het aantal inwoners voldoende water kan worden opgevangen. Daarnaast is het benodigde oppervlak voor die opvang relatief erg groot. Voor een gemiddeld gezin met een individuele woning moet het dakoppervlak minimaal 140-235 m² zijn, afhankelijk van de opvang in een open vijver of gesloten tank (het gemiddelde dakoppervlak van een woning in Nederland is 60 m²). De kosten voor het maken van drinkwater bedragen ongeveer €64,00 – €111,00/m³ (respectievelijk open en

gesloten opvang). Pas bij een afstand tot het centrale leidingnet van minstens 6 of 15 km is deze investering rendabel.

Implementatie: regenwater als bron voor drinkwater kan soms op wijkniveau

Bij een niet te hoge bevolkingsdichtheid is decentrale productie van drinkwater uit opgevangen regenwater op wijkniveau soms mogelijk op basis van de hoeveelheden regenwater die kunnen worden opgevangen. Dit levert een kleine milieuwinst op tegen relatief hoge kosten. Voor individuele woningen en dichtbevolkte stadswijken is het systeem praktisch niet haalbaar, of liggen de kosten veel te hoog.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in rapport *Regenwater als bron voor drinkwater; productiekosten en milieuaspecten* (BTO-2018.028).

Samenvatting

Drinkwaterbedrijven zien zich steeds vaker geconfronteerd met vragen van klanten, die denken dat ze het milieu een dienst kunnen bewijzen door regenwater te gebruiken als bron voor drinkwater. In een eerder rapport (Hofman-Caris et al. 2017) werd al aangegeven dat opgevangen regenwaterverontreinigingen (met name microbiologisch) niet schoon is. Daarom zal een zuiveringsproces toch altijd nodig zijn. Verder werd in dat rapport uitgerekend dat de hoeveelheid neerslag die op een gemiddeld Nederlands dak valt onvoldoende is om de drinkwaterbehoefte van een gemiddeld Nederlands gezin te dekken. Alleen indien al het water dat op verhard oppervlak valt wordt gebruikt, zou zuivering op wijk- of buurtschaal onder verantwoordelijkheid van een drinkwaterbedrijf mogelijk zijn.

In dit rapport hebben we voor twee verschillende situaties de decentrale regenwaterzuivering tot drinkwater doorgerekend, en er de milieu-impact van bepaald en vergeleken met die van de huidige centrale drinkwaterzuivering van Waternet.

In het ene geval ging het om een nieuwbouwwijk in een stad, waarvoor we de geplande inrichting van Centrumeiland in de Amsterdamse wijk IJburg als model hebben genomen. Hiervoor hebben we twee zuiveringsprocessen doorgerekend: één gebaseerd op omgekeerde osmose (RO), en één waarbij zuivering en desinfectie zijn gebaseerd op geavanceerde oxidatie (AOP; UV/H₂O₂).

In het tweede geval betrof het een individuele woning in het buitengebied van Amsterdam (Holysloot). Hier hebben we vier scenario's doorgerekend gebaseerd op dezelfde processen (RO en AOP). Daarbij hebben we onderscheid gemaakt tussen opvang in een gesloten tank of in een open vijver.

Kleinschalige drinkwaterproductie uit opgevangen regenwater heeft drie grote nadelen:

1. Het is belangrijk voldoende opvangcapaciteit te hebben om al het regenwater, ook tijdens piekbuien, te kunnen opvangen. Alleen op die manier is er voldoende water beschikbaar, en worden schade door overstromingen en problemen bij de rioolwaterzuivering voorkomen. Met dit laatste kunnen de hogere kosten voor de kleinschaliger zuivering (deels) worden gecompenseerd.
2. Opgvangen regenwater kan, zonder zuivering, in een gesloten tank niet lang bewaard worden. Daarom is het van belang bij een gesloten tank voldoende zuiveringscapaciteit te hebben, om het opgevangen regenwater op korte termijn te kunnen zuiveren en opslaan. Om een periode van langdurige droogte te kunnen overbruggen is voldoende opslagcapaciteit voor gezuiverd drinkwater nodig. Bij opvang in een open vijver kan volstaat een kleinere zuivering, die constant draait. Ook hier is echter een voldoende grote opslagcapaciteit vereist, om een droge periode te kunnen overbruggen.
3. Opgvangen regenwater is microbiologisch niet betrouwbaar. Daarom moeten regelmatig analyses worden uitgevoerd, om te kunnen garanderen dat de zuivering naar behoren functioneert en het geproduceerde drinkwater veilig is. Bij kleinschalige zuiveringen worden de kosten van deze analyses over minder mensen verdeeld, waardoor die relatief hoog oplopen, vooral bij een individuele woning.

In onze berekeningen hebben we de analysekosten per scenario per m³ drinkwater berekend. Voor de individuele woning in Holysloot komt het neer op een bedrag van €25,93, maar in Centrumeland, waar veel meer drinkwater wordt geproduceerd, is het €0,04 per m³.

In het geval van Centrumeland bedragen de kosten voor de productie van drinkwater uit regenwater ongeveer € 2,70 - € 3,50 /m³ drinkwater. In het geval van een individuele woning in Holysloot bedragen de kosten bij een open opvangvijver circa €38,00/m³ drinkwater, en bij een gesloten opvangvat ongeveer €85,00/m³. Hier komen nog de analysekosten bij, waardoor de totale prijs uitkomt op respectievelijk €64,- en €111,- per m³. Het grote verschil met de zuivering op wijk-schaal wordt veroorzaakt doordat een kleinschalige zuivering relatief veel duurder is dan een zuivering op grotere schaal, en dat de analysekosten hier veel zwaarder meewegen. Bij toepassing van een gesloten opvangtank is een relatief grote zuiveringscapaciteit nodig voor de snelle zuivering van tijdens een piekbui opgevangen grote hoeveelheid water. Deze zuivering zal echter slechts periodiek in gebruik zijn, waardoor de kosten per m³ hoog worden. Bij een open opvangvijver kan worden volstaan met een veel kleinschaliger zuivering, die min of meer continu in bedrijf is, wat het verschil in kosten tussen de open vijver en de gesloten opvangtank verklaart.

Doordat het regenwater wordt opgevangen zal een waterschap minder kosten hebben voor het behandelen van het water, en zal er minder overlast ontstaan door piekbuien. Om dit effect te kunnen kwantificeren is uitgegaan van een soort "tegeltax", zoals die bijvoorbeeld in Berlijn wordt geheven per m² verhard oppervlak om voor dergelijke kosten te compenseren. Hoewel op dit moment een dergelijke belasting in Nederland nog niet wordt geheven, hebben we de Berlijnse tegeltax gebruikt als een maat voor de mogelijke besparingen die het opvangen en zuiveren van regenwater kan opleveren. Dit betekent voor Centrumeland een "besparing" van €1,60/m³. Hiermee komt de totale prijs van drinkwater uit regenwater op wijk-niveau in dezelfde orde-grootte uit als de prijs voor centraal geproduceerd drinkwater. Voor Holysloot hangt de besparing af van het type opvang. Bij een gesloten opvangvat is het belangrijk een first flush toe te passen, waardoor een opvangoppervlak ter grootte van 235 m² nodig is. De besparingen zouden dan een "tegeltax" van €4,48/m³ vertegenwoordigen. Bij een open opvangvijver heeft het geen zin een first flush toe te passen, en kan met een opvangoppervlak van 141 m² worden volstaan. Hierdoor wordt de besparing (tegeltax) echter ook kleiner: €2,69/m³. Dit betekent dat de besparingen op het gebied van overlast door piekbuien voor een individuele woning groter zijn dan op wijk-niveau, maar dat het op de totale prijs relatief weinig verschil maakt vanwege de veel hogere investerings-, productie-, en analysekosten.

De milieu-impact van een kleinschalig proces is bij gebruik van "gewone energie" over het algemeen groter dan van een groter zuiveringsproces. De beide RO-scenario's lijken een (iets) grotere impact te hebben dan de UV/H₂O₂ scenario's, maar bij gebruik van windenergie worden deze verschillen veel kleiner. Aangezien de meeste drinkwaterbedrijven uitgaan van groene energie, is ook in dit rapport de milieu-impact voornamelijk berekend op basis van groene energie. Vanwege het feit dat regenwater redelijk schoon is, is een minder intensieve zuivering nodig dan bij het gebruik van oppervlaktewater als bron voor drinkwater. Bovendien hoeft het water niet over relatief grote afstand te worden aangevoerd. Daardoor is de milieu-impact van een zuivering op woningniveau, zoals in Holysloot, bij gebruik van windenergie uiteindelijk toch vergelijkbaar met de milieu-impact van de grootschalige zuivering in bijvoorbeeld Leiduin. De impact van een zuivering op wijkniveau is dan zelfs een factor 3 kleiner dan die van de centrale drinkwaterzuivering. Indien dit verschil echter wordt afgezet tegen de totale voetafdruk van een West-Europeaan wordt duidelijk dat de totale milieuwinst erg klein is in verhouding tot de kosten die gemoeid zijn met decentrale

zuivering, en mogelijke risico's die het met zich meebrengt indien de veiligheid niet voldoende gewaarborgd zou worden.

De beide scenario's voor Centrum-eiland hebben enkele grote, praktische nadelen. Vooral de opvangvijver legt een onevenredig groot beslag op de totale beschikbare ruimte in de wijk. Bovendien moet er rekening mee worden gehouden dat de het waterniveau in de opvangvijver een belangrijk deel van het jaar heel laag kan zijn. Erger is echter dat de hoeveelheid water die kan worden opgevangen slechts toereikend is voor ongeveer de helft van het aantal inwoners waarvan in de plannen nu wordt uitgegaan.

In het geval van de woning in Holysloot is ervan uitgegaan dat het dakoppervlak bij een gesloten opvangtank minstens 2,5 – 4 keer zo groot moet zijn als een gemiddeld dak, om voldoende water te kunnen opvangen om ook een langdurige droge periode (zes weken) te kunnen overbruggen. Bij een aanleg van een open opvangvijver kan met een kleiner dak worden volstaan, omdat het dan geen zin heeft een first flush toe te passen. Wel moet ook hier worden opgemerkt dat de vijver een groot deel van het jaar weinig water zal bevatten, maar een groot volume is nodig om piekbuien te kunnen opvangen. Verder zijn voor Holysloot alle kosten en baten op een rijtje gezet, en zijn deze afgezet tegen de kosten voor aansluiting op het drinkwaterleidingnet van Waternet. Hieruit bleek dat pas bij een afstand groter dan (bij een open opvangvijver) 6 km of (bij een gesloten opvangvat) 15 km van het leidingnet een dergelijke kleinschalige zuivering rendabel zou kunnen worden.

Voor een stadswijk als IJburg is het grootste praktische probleem dat de (geplande) bevolkingsdichtheid veel te hoog is om voldoende regenwater te kunnen opvangen om iedereen van drinkwater te voorzien. Dit kan alleen bij een aanzienlijk lagere bevolkingsdichtheid, en door de hoge grondprijzen in een stad als Amsterdam is het ontwikkelen van een stadswijk in een dergelijk geval financieel niet haalbaar.

Het combineren van een regulier drinkwaterleidingnet met drinkwaterproductie uit regenwater levert geen voordelen, maar wel nadelen op.

De conclusie is dat kleinschalige zuivering op het niveau van één woning of een wijk voor het milieu gunstiger is dan centrale drinkwaterproductie, mits gebruik wordt gemaakt van groene energie. De totale kosten voor de productie van drinkwater uit regenwater zijn echter veel hoger dan die voor centraal geproduceerd en geleverd drinkwater. Pas bij een afstand van minstens 6 km (bij een open opvangvijver) of 15 km (bij een gesloten opvangtank) tot het drinkwaterleidingnet zouden deze kosten voor een individuele woning kunnen opwegen tegen het aanleggen van een extra leiding. Bovendien moet de woning over een relatief groot dak beschikken, om voldoende water te kunnen opvangen.

Regenwateropvang is technisch niet ingewikkeld, en het gebruik van dit water voor verschillende doeleinden (zoals het spoelen van de wc en het sproeien van de tuin), is prima mogelijk. Opgevangen regenwater gebruiken als bron voor drinkwater in plaats van centraal geproduceerd drinkwater kan een kleine milieuwinst opleveren, maar is relatief erg duur, en vaak vanwege praktische problemen (zoals ruimtegebrek) moeilijk te realiseren. Bovendien valt er te weinig neerslag om een dichtbevolkte stadswijk van drinkwater te kunnen voorzien. Het grootste nadeel is echter dat het op dit moment op kleine schaal nog relatief duur is om de microbiologische veiligheid van het water te kunnen garanderen, waardoor regelmatig dure analyses nodig zijn. De ontwikkeling van geschikte sensoren zou dit wellicht kunnen verbeteren.

Inhoud

Samenvatting	1
Inhoud	5
1 Inleiding	7
1.1 Duurzame samenleving met kleinschalige drinkwaterzuivering?	7
1.2 Twee casussen	7
1.3 Leeswijzer	8
2 Beschrijving van de gekozen locaties	9
2.1 Centrumeiland	9
2.2 Woning in het buitengebied: Holysloot	11
3 Uitgangspunten	12
3.1 Situatie Centrumeiland	12
3.2 Situatie Holysloot	17
4 Levenscyclusanalyse (LCA)	23
4.1 Methode	23
4.2 Resultaten voor Centrumeiland	23
4.3 Resultaten voor Holysloot	26
4.4 Vergelijking milieu-impact Centrumeiland en Holysloot	29
5 Total costs of ownership (TCO)	34
5.1 Algemene aannamen	34
5.2 Centrumeiland casus specifieke aannamen	34
5.3 Holysloot casus specifieke aannamen	35
5.4 Opbouw kuubsprijs per scenario	35
6 Discussie	37
6.1 Effect schaalgrootte	37
6.2 Gecombineerde systemen	37
6.3 Praktische aspecten	38
6.4 Totale kosten voor decentrale zuivering	38
6.5 Milieu-effecten	41
6.6 Extra overwegingen	42
6.7 Mogelijkheden voor ondergrondse berging	42
7 Conclusies en aanbevelingen	43
7.1 Conclusies	43
7.2 Aanbevelingen	43
8 Referenties	45

Bijlage I	46
• Inrichting van Centrumeiland	46
Bijlage II	49
• LCA-gegevens van zuiveringsprocessen op basis van marktconforme stroom.	49
Bijlage III	56
• Kostenberekeningen zuiveringsscenario's Centrumeiland en Holysloot	56
Bijlage IV	62
• Ondergrondse berging	62

1 Inleiding

1.1 Duurzame samenleving met kleinschalige drinkwaterzuivering?

Drinkwaterbedrijven zien zich steeds vaker geconfronteerd met vragen van klanten die duurzamer willen leven. Bij veel mensen leeft het idee dat regenwater een schone bron is, waaruit eenvoudig goed drinkwater gemaakt kan worden. Op die manier zou je het milieu minder belasten. Sommigen willen zelfs volledig “self supporting” worden, en zelf hun eigen drinkwater maken.

In een vorige studie (Hofman-Caris et al. 2017) is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de kwaliteit van kwantiteit van regenwater. Hieruit bleek dat regenwater niet per definitie schoon is, en dat vooral de microbiologische veiligheid een belangrijk punt van aandacht is als regenwater gebruikt wordt als bron voor drinkwater. Daarnaast bleek dat de hoeveelheid regenwater die op een gemiddeld Nederlands dak valt ontoereikend is om aan de drinkwaterbehoefte van een gemiddeld Nederlands gezin te voldoen.

Uit deze studie kwam echter ook naar voren dat het wellicht wel mogelijk is om op wijk- of buurtniveau al het water dat op het verharde oppervlak valt op te vangen, en daar door het drinkwaterbedrijf drinkwater van te laten maken. Hiervoor is inderdaad geen bijzonder uitgebreide zuivering nodig, want dit water bevat immers geen RWZI-effluent, dat meestal nog significante concentraties aan bijvoorbeeld geneesmiddelen en dergelijke bevat. Het water dat via wegen, trottoirs, parkeerplaatsen en dergelijke wordt opgevangen is misschien iets minder schoon dan water dat afkomstig is van daken, maar uit de literatuurstudie was gebleken dat het verschil klein is. Door de productie onder verantwoordelijkheid van het drinkwater bedrijf te laten vallen, kan de veiligheid worden gewaarborgd. Aangezien niet alleen het water dat op daken wordt opgevangen wordt meegenomen, maar al het water dat via verhard oppervlak afstroomt, zou de hoeveelheid in dit geval wel voldoende kunnen zijn om de bewoners van de wijk of buurt van voldoende drinkwater te voorzien. Het voordeel hiervan is dat de veiligheid van het geproduceerde water kan worden gewaarborgd door het drinkwaterbedrijf, dat ook de benodigde analyses kan laten uitvoeren (voor individuele burgers zou dit veel te kostbaar worden). Aangezien voor elke decentrale zuivering dergelijke analyses nodig zijn, zullen de analysekosten voor het drinkwaterbedrijf significant stijgen. In de berekeningen hebben we die kosten berekend per m³ geproduceerd drinkwater, waardoor de analysekosten voor de individuele woning in het buitengebied per m³ hoger zijn dan die voor een wijk. Het financiële voordeel van dit systeem zit vooral in het feit dat in het geval van piekbuien overvloedige neerslag direct wordt afgevoerd en opgevangen, waardoor er minder overlast ontstaat door overstromingen, en bovendien de RWZI minder wordt belast. Voor de financiële haalbaarheid van dit systeem is het dan waarschijnlijk wel nodig om de hele watercyclus in de beschouwing mee te nemen, en niet alleen de drinkwaterkant.

1.2 Twee casussen

Het hierboven genoemde onderzoek leidde bij Waternet tot twee hoofdvragen voor vervolgonderzoek:

1. Wat zijn de kosten en milieu-impact als een dergelijk kleinschalige zuivering wordt toegepast in een nieuw te bouwen stadswijk?
2. Wat zijn de kosten en milieu-impact als een kleinschalige zuivering op een individuele woning in het buitengebied wordt toegepast? En wat moet de afstand tot het reguliere leidingnet zijn om een dergelijke kleinschalige zuivering rendabel te maken ten opzichte van aansluiting op dat reguliere net?

Voor de beantwoording van vraag 1 zijn we uitgegaan van een nieuwe wijk die in IJburg gebouwd zal worden, namelijk Centrumeiland. De berekeningen zijn gebaseerd op de hoeveelheid water die kan worden opgevangen bij de geplande inrichting van deze wijk, dus niet op de drinkwaterbehoefte van de geplande bewoners. We hebben twee verschillende zuiveringsprocessen bekeken: één gebaseerd op omgekeerde osmose (RO), en één gebaseerd op geavanceerde oxidatie (UV/H₂O₂).

Voor de beantwoording van vraag 2 zijn we uitgegaan van een nieuwbouwwoning in Holysloot. Hierbij hebben we aangenomen dat er een gemiddeld gezin komt te wonen (dus 2,2 bewoners), en dat het dakoppervlak van de woning groot genoeg is om voldoende water te kunnen opvangen. Hierbij zijn we uitgegaan van de berekeningen van hoeveelheden regenwater die kunnen worden opgevangen in een eerdere studie (Hofman-Caris et al. 2017). In dit geval hebben we dezelfde twee processen doorgerekend (RO en UV/H₂O₂). Dat hebben we echter voor twee verschillende situaties gedaan: één met een gesloten opvangtank, zoals dat in België gebruikelijk is, en één met een open opvangvijver (zoals voor Centrumeiland is beschreven). Dit zijn dus in totaal vier scenario's. Daarnaast hebben we gekeken onder deze aannames bij welke afstand tot het leidingnet het bouwen van een dergelijke decentrale zuivering financieel gunstiger zou zijn dan het aansluiten op het drinkwaterleidingnet.

Voor alle zes de scenario's (Centrumeiland en Holysloot, allebei met RO en UV/H₂O₂) hebben we een Total Cost of Ownership (TCO) uitgerekend voor een periode van twintig jaar. Op deze manier kan inzichtelijk worden gemaakt wat de kosten van een meer decentrale zuivering zijn. Daarnaast hebben we met behulp van het programma Simapro een Levenscyclus Analyse (Life Cycle Analysis; LCA) uitgevoerd, om de milieueffecten in kaart te brengen.

Bij de TCO-berekeningen hebben we analysekosten meegenomen in de overweging. Ook is rekening gehouden met gunstige effecten op de gehele watercyclus, doordat overstromingen en overbelasting van RWZI's tijdens piekbuien worden voorkomen. Hiervoor is gerekend met een besparing die overeenkomt met een zogenaamde "tegeltax", zoals die bijvoorbeeld in Berlijn wordt gehanteerd om de kosten die piekbuien opleveren te dekken: een belasting die inwoners moeten betalen per m² verhard/bebouwd oppervlak.

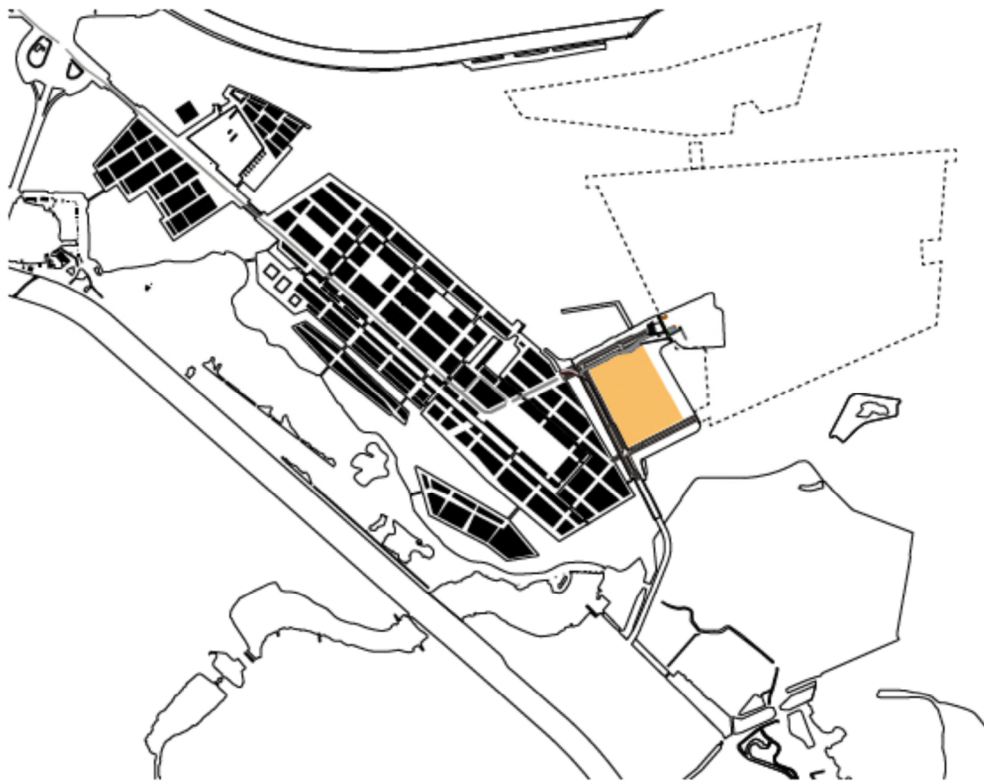
1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de beide casussen (Centrumeiland en Holysloot) beschreven. In hoofdstuk 3 worden de uitgangspunten, waarop de berekeningen zijn gebaseerd, beschreven. In hoofdstuk 4 wordt beschreven hoe de LCA is uitgevoerd, en wat hier de resultaten van zijn. In hoofdstuk 5 wordt aangegeven hoe we de kostenberekeningen hebben uitgevoerd, en waar dat toe geleid heeft. In hoofdstuk 6 worden de resultaten in perspectief geplaatst en bediscussieerd. hoofdstuk 7 geeft tenslotte de conclusies en aanbevelingen.

2 Beschrijving van de gekozen locaties

2.1 Centrumeiland

De berekeningen in de scenario's voor Centrumeiland zijn gebaseerd op het stedenbouwkundig plan voor Centrumeiland uit mei 2016 van de gemeente Amsterdam (<https://www.amsterdam.nl/projecten/ijburg/centrumeiland/>).



FIGUUR 1: CENTRUMEILAND MOET EEN SCHAKEL VORMEN TUSSEN DE EERSTE EN TWEEDE FASE VAN IJBURG (CENTRUMEILAND, STARTVISIE 17 MAART 2015).

Het betreft hier nieuwbouw in de wijk IJburg, die bestaat uit vier eilanden: Buiteneiland, Midden-eiland, Strandeiland en Centrumeiland. In totaal moeten hier 18.400 woningen worden gerealiseerd met ongeveer 40.000 inwoners. Deze notitie heeft betrekking op Centrumeiland, waar ongeveer 1300 woningen moeten komen.



FIGUUR 2: HET NIEUWE LAND CENTRUMEILAND IN 2015 (CENTRUMEILAND, STARTVISIE 17 MAART 2015).

Centrumeiland heeft een oppervlak van 13 ha, waarvan in de visie van de gemeente 45.767 m² bebouwd zal worden.

Op basis van de plannen van de gemeente is uitgerekend hoe groot het bebouwde oppervlak zal worden, hoeveel oppervlak verhard zal worden, en hoe groot het totale niet-verharde oppervlak zal zijn (zie 0). Het totale verhard en bebouwd oppervlak komt neer op 93.600 m². Het moet in principe mogelijk zijn het regenwater dat hierop valt op te vangen. Auto's worden volgens planning zoveel mogelijk uit de wijk geweerd, en veel auto's zullen onder de gebouwen worden geparkeerd, waardoor de verontreiniging van het water dat op verhard oppervlak valt mee zal vallen (olielekkage zal dan relatief beperkt zijn). Daarom wordt bij dit scenario ervan uitgegaan dat al het water dat op verhard oppervlak valt zal worden gebruikt om er drinkwater van te maken.

In principe wordt er al iets met het regenwater gedaan in de plannen voor deze wijk. Het hoogteverschil tussen het plein (5,30 m boven NAP) en het laagste punt (1,60 m boven NAP) bedraagt 3,70 m, en dit wordt gebruikt om het water via gootjes en trappen naar beneden te leiden. Het idee is om het water te infiltreren in de ondergrond, waar plaats genoeg moet zijn om het water te infiltreren, aangezien de ontwateringsdiepte 1,5-3,5 m is. Bovendien worden bij het plein bomen geplant die goed tegen droogte kunnen, en verder naar beneden bomen die meer water nodig hebben. Bij een extreme piekbui (aannee 60 mm in één uur) zal het water via wadi's en dergelijke worden afgevoerd, waarna het binnen 24 uur in de bodem zou moeten worden opgenomen. Daarom zijn alle parkeerplaatsen ook niet helemaal verhard. Verder wordt in het plan aangeraden dat er groene daken worden aangelegd, en mensen regenwater opvangen voor toiletspoeling en de wasmachine.

2.2 Woning in het buitengebied: Holysloot

Holysloot is een dorp in het dunbevolkte landelijke gebied in het noorden van de gemeente Amsterdam. Als hier een woning apart op het drinkwaterleidingnet moet worden aangesloten brengt dat relatief hoge kosten met zich mee. Daarom is het interessant voor Waternet om na te gaan wat de mogelijkheden en kosten zijn van decentrale zuivering op basis van regenwateropvang in een dergelijk geval, en bij welke afstand tot het centrale leidingnet het interessant kan worden om decentrale zuivering aan te leggen.



FIGUUR 3: LUCHTFOTO VAN HOLYSLOOT

Bij de berekeningen is ervan uitgegaan dat er voldoende water kan worden opgevangen via het dak van de woning, om te voldoen aan de drinkwatervraag van een gemiddeld gezin (d.w.z. 2,2 personen). Met andere woorden: de grootte van het dak is zodanig aangepast dat er voldoende neerslag op kan worden opgevangen.

In principe zijn hier dezelfde zuiveringsscenario's doorgerekend als voor Centrumeiland. In de eerste twee scenario's is uitgegaan van een opvangvijver, in de volgende twee van gesloten bufferbakken. Om gedurende het jaar, maar vooral ook tijdens periodes van droogte, voldoende drinkwater beschikbaar te hebben, is het belangrijk dat alle neerslag, ook tijdens piekbuien, kan worden opgevangen. Dit betekent dat het water, na eerste opvang in een gesloten tank, zo snel mogelijk moet worden gezuiverd en in een tweede tank worden bewaard. Om voldoende capaciteit te hebben om twee van dergelijke piekbuien in korte tijd te kunnen opvangen, en om de mogelijkheid te hebben onderhoud te plegen aan het systeem zonder de drinkwatervoorziening in gevaar te brengen, zijn twee schoonwatertanks gepland in dit scenario. Bovendien is hierbij uitgegaan van een installatie die in korte tijd een relatief grote hoeveelheid water kan zuiveren.

Bij de open opvangvijver hoeft het regenwater niet direct in korte tijd gezuiverd te worden, waardoor een veel kleinere installatie nodig is, die dan wel min of meer continu kan draaien. Hierdoor is ook een kleiner opvangvat voor reinwater nodig. Ook het benodigde dakoppervlak is in dit scenario kleiner, want het is nu niet nodig de first flush weg te gooien.

3 Uitgangspunten

3.1 Situatie Centrumeiland

In rapport BTO 2017.029 (Hofman-Caris et al. 2017) is aangegeven dat in Nederland in 2016 gemiddeld 856 mm neerslag is gevallen. Rekening houdend met een gemiddelde run-off coëfficiënt¹ van 0,8 komt dit neer op 685 mm per jaar. Rekening houdend met een first flush² van 2 mm (zie ook (Hofman-Caris et al. 2017) wordt de totale hoeveelheid bruikbaar regenwater 411 mm per jaar.

Op een oppervlak van 93.600 m² valt dus $685 \cdot 93.600 = 6,41 \cdot 10^7$ L water per jaar. Merk op dat bij deze berekening geen rekening gehouden is met het first flush principe omdat er ook water van straten, parkeerterreinen e.d. wordt opgevangen, waardoor in elk geval een vrij robuuste zuivering nodig zal zijn.

De 1300 woningen zullen ongeveer 2860 inwoners herbergen, die ongeveer 120 L per persoon per dag gebruiken, wat neerkomt op $1,26 \cdot 10^8$ L per jaar. Dit betekent dat de hoeveelheid opgevangen regenwater maximaal ongeveer 51% van de totale benodigde hoeveelheid drinkwater zou kunnen zijn.

Bij een run-off coëfficiënt van 0,9 zou dit kunnen oplopen tot 57%, bij gebruik van een first flush en een run-off coëfficiënt van 0,8 is het echter slechts 31% van de benodigde hoeveelheid drinkwater. Bij toepassing van groene daken wordt de run-off coëfficiënt kleiner.

Dit is aanzienlijk minder dan we in BTO 2017.029 hadden ingeschat. De verklaring hiervoor is dat we toen zijn uitgegaan van een gemiddelde wijk in Hilversum, waar 9682 inwoners wonen in een wijk van 515 ha. Dit betekent dat er per inwoner in Hilversum 532 m² beschikbaar is, terwijl dit op Centrumeiland slechts 100 m²/inwoner zal worden.

Stel dat alleen het regenwater van daken zou worden opgevangen, dan zou dit bij een run-off coëfficiënt van 0,8 een hoeveelheid water van $3,14 \cdot 10^7$ L per jaar opleveren. Voor het toilet zouden de inwoners ongeveer $33,8 \cdot 2860 \cdot 365 = 3,5 \cdot 10^7$ L nodig hebben (113% van wat er kan worden opgevangen), voor de wasmachine $1,6 \cdot 10^7$ L (52% van wat ze kunnen opvangen).

¹ Run-off coëfficiënt: de hoeveelheid water dat van het dak stroomt in verhouding tot de totale hoeveelheid gevallen neerslag. Het verschil, het water dat niet het opvangsysteem bereikt, wordt veroorzaakt door lekkages, overlopen, verdamping, en/of wordt vastgehouden door het oppervlak zelf.

² First-flush: de eerste hoeveelheid neerslag die wordt opgevangen op een droog dak en daardoor relatief veel verontreinigingen bevat

TABEL 1: WATERVERBRUIK (IN LITER PER PERSOON PER DAG) PER ONDERDEEL IN EEN NEDERLANDS HUISHOUDEN IN 2013 (KERNGEGEVENS DRINKWATER 2013).

Onderdeel	Liter per persoon per dag	Aantal m ³ per persoon per jaar	Aantal m ³ per huishouden (2,2 pers.) per jaar
Douche	51,4	18,8	41,4
Bad	1,8	0,7	1,5
Wastafel	5,2	1,9	4,2
Toiletspoeling	33,8	12,3	27,1
Kleding wassen (hand en machine)	15,7	5,7	12,5
Afwassen (hand en machine)	5,6	2,0	8,0
Voedselbereiding	1,0	0,4	1,6
Koffie, thee, water drinken	1,0	0,4	1,6
Overige	3,4	1,2	4,8
TOTAAL	118,9	43,4	173,6

Alternatieve sanitatie kan het waterverbruik verlagen. Op het ogenblik zijn vacuümtoiletten zover ontwikkeld dat deze inderdaad in een dergelijke wijk standaard geplaatst zouden kunnen worden. Dat leidt tot een waterbesparing van ongeveer 25% van het totale verbruik. Dit is echter onvoldoende om bij de geplande bevolkingsdichtheid de watervraag te kunnen dekken met regenwater. Andere waterbesparende maatregelen, zoals recycle douches, zijn ofwel nog niet zover ontwikkeld dat ze op grote schaal toepasbaar zijn, ofwel veel te duur voor grootschalige inbouw in (sociale) woningen.

Voor de berekeningen in het huidige rapport zijn we ervan uitgegaan dat het aantal inwoners van de wijk zo laag is dat er voldoende water kan worden opgevangen om aan hun watervraag te voldoen. In de praktijk zou dit betekenen dat er veel minder dan de geplande hoeveelheid woningen gebouwd zou kunnen worden. Voor de totale hoeveelheid verhard en bebouwd oppervlak hoeft dat echter geen verschil te maken, omdat veel woningen toch in hoogbouw (5-6 bouwlagen) gepland zijn. Dit zou dan alleen slechts 2-3 bouwlagen kunnen worden. Voor onze berekeningen zijn we uitgegaan van 1430 inwoners (in plaats van 2860). Dit betekent echter dat de bouw van een dergelijke wijk in een dichtbevolkte stad met hoge grondprijzen voor projectontwikkelaars niet rendabel zal zijn.

Hoewel Nederland bekend staat als een nat landje, is de hoeveelheid neerslag door het jaar heen niet extreem groot. Ook komen er de laatste jaren, waarschijnlijk als gevolg van klimaatverandering, langdurigere droge periodes voor afgewisseld door piekbuien (http://www.klimaatscenario.nl/scenarios_samengevat/). Deze piekbuien vormen een significant deel van de totale jaarlijkse neerslag. Uit de gegevens van het KNMI (Hofman-Caris et al. 2017) blijkt dat het belangrijk is om de neerslag uit die piekbuien te kunnen gebruiken, om over voldoende water te kunnen beschikken om er drinkwater van te maken. Ongezuiverd water is echter moeilijk gedurende langere tijd te bewaren in bijvoorbeeld een grote tank, omdat er dan biologische groei zal optreden. Dat zou betekenen dat de capaciteit van de zuiveringsinstallatie berekend moet worden op incidentele piekbuien, wat voor de rest van het jaar een grote overcapaciteit zou zijn. Daarom is in dit scenario ervoor gekozen het water op te vangen in een grote vijver. Hierdoor zal het water mogelijk meer verontreinigd raken (bv. door uitwerpselen van dieren). Het is echter voordeliger een kleiner zuiveringsproces te ontwerpen dat continu in bedrijf is, dan een grote overcapaciteit te

installeren, die alleen in het geval van piekbuien volledig wordt benut en het grootste deel van het jaar niet wordt gebruikt.

De gemeente Amsterdam gaat uit van piekbuien met een capaciteit van 60 mm/uur. In rapport BTO 2017.029 (Hofman-Caris et al. 2017) wordt in tabel 4-5 een overzicht gegeven van piekbuien in Nederland. Hieruit blijkt dat de maximale etmaalsom in Nederland varieert van ongeveer 60 tot 110 mm. Voor de dimensionering is in de berekeningen uitgegaan van 75 mm als gemiddelde etmaalsom van de Nederlandse weerstations (Hofman-Caris et al. 2017)

Indien in een heel korte periode 60 mm neerslag valt, betekent dit dat er op 93600 m^2 $5,62 \cdot 10^6 \text{ L}$, ofwel $5,62 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ water valt, wat moet worden opgevangen. Hierbij is geen rekening gehouden met een run-off coëfficiënt. Verder is in deze berekening aangenomen dat in korte tijd 2,5 keer deze hoeveelheid moet kunnen worden opgevangen om overlast te voorkomen (piekbuien komen meestal voor in bepaalde periodes, wat het verschil verklaart tussen de hoge etmaalsom en het vrij lage getal van 60 mm/uur) (zie ook (Hofman-Caris et al. 2017)). Dit betekent dat een opslagcapaciteit voor “vuil” water nodig is van maximaal $14 \cdot 10^3 \text{ m}^3$. Aannemend dat de opvangvijver 4 m diep kan zijn, betekent dit dat hij een oppervlak van 3500 m^2 , ofwel 2,7% van het totale oppervlak van Centru-meiland zou innemen. Dit komt overeen met ruim de helft van het totale oppervlak aan speel- en trapveldjes dat op dit ogenblik is gepland.

De geplande ontwateringsdiepte op Centru-meiland is 1,5 – 3,5 m. Als we uitgaan van een vijver met niet doorlatende wanden, zou deze zich boven het grondwaterpeil moeten bevinden, om te voorkomen dat hij gaat drijven.

Een mogelijk beter alternatief is ondergrondse waterberging. Hiervoor is echter meer onderzoek nodig.

In rapport BTO 2017.029 is in tabel 4-4 een overzicht gegeven van het maximale aantal droge dagen in een maand (voor het weerstation De Bilt). Hieruit blijkt dat er maximaal ongeveer 20 droge dagen in een maand voorkomen. Het kan natuurlijk zo zijn dat een droge periode over twee maanden verdeeld is, waardoor de aaneengesloten droge periode langer kan zijn. Daarom wordt in dit plan uitgegaan van een maximale droge periode van 6 weken (20 dagen per maand, twee opeenvolgende maanden), die overbrugd moet kunnen worden met de voorraad opgevangen en gezuiverd regenwater. Voor de aangenomen 1430 bewoners is dus een voorraad van $7,2 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ water nodig om deze periode te kunnen overbruggen. Bij een zuiveringscapaciteit van $10 \text{ m}^3/\text{uur}$ wordt per dag 240 m^3 water behandeld. Daarom wordt voorgesteld om twee tanks, elk met een opslagcapaciteit van $5 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ te bouwen (dit komt overeen met twee olympische zwembaden per tank). Dit biedt de mogelijkheid om voldoende buffercapaciteit aan te houden, en toch ook regelmatig onderhoud aan de tanks en leidingen te kunnen plegen. Bovendien kan, bovenop de reservecapaciteit van $7,2 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ water, nog gedurende 11 dagen gezuiverd water worden opgevangen. Een drinkwaterbedrijf heeft leveringsplicht: in geval van nood zou een tank gevuld kunnen worden met behulp van tankwagens, om aan deze leveringsplicht te kunnen voldoen. Hiervoor zijn echter wel veel tankwagens nodig: één tankwagen voor de levering van water heeft een capaciteit van 30 m^3 (<http://www.hatenboer-neptunus.nl/leveringenpertruck>). Voor 1430 inwoners is per dag ongeveer 172 m^3 drinkwater nodig, wat dus betekent dat er per dag zo'n zes tankwagens water aangeleverd zouden moeten worden.

De zuivering van het opgevangen regenwater zal geplaatst worden in een laaggelegen deel van Centru-meiland. Waternet is verantwoordelijk voor het proces, en ook voor de benodigde analyses en dergelijke. Om de kwaliteit van het geproduceerde drinkwater te kunnen garanderen zijn regelmatig analyses nodig. Navraag bij Aqualab Zuid gaf aan dat die kosten per jaar verschillen: het eerste jaar €5000,-, het tweede jaar €1700,-, het derde jaar ongeveer €3000,-, het vierde weer €1700,-, het vijfde weer €3000,-, enzovoort. Deze verschillen worden veroorzaakt doordat niet alle parameters even vaak gemeten hoeven te worden. Voor de berekeningen in dit rapport is uitgegaan van gemiddelde analysekosten van €2500,- per jaar. Deze gemiddelde kosten van de analyses om de waterkwaliteit van deze lokale zuivering te garanderen, zijn in deze kostenraming per m³ verwerkt. De kosten voor de behandeling van afvalstromen zijn in deze berekeningen nog niet meegenomen.

Voor beide scenario's hebben we een kostenberekening gemaakt (total cost of ownership (TCO) over 20 jaar en een levenscyclusanalyse (LCA) uitgevoerd. Om de kosten eerlijk te kunnen vergelijken met de kosten van centraal geleverd drinkwater, is het nodig eventuele besparingen, als gevolg van minder overlast bij extreme neerslag, in het totaalplaatje mee te nemen. Om hier een bedrag aan te kunnen koppelen is uitgegaan van een zogenaamde "tegeltax": een belasting per m² verhard terrein die moet worden betaald aan de gemeente voor het afvoeren van de neerslag die hierop valt. Dit is om te compenseren voor de kosten die gemaakt moeten worden om deze neerslag te verwerken, aangezien het riool overbelast raakt bij hevige regenval. In Duitsland is dit al in verschillende gemeenten ingevoerd. In Nederland denkt men in de gemeente Altena over een dergelijk systeem (<https://www.buitenstate.nl/lifestyle-en-business/betalen-voor-tegels-rond-uw-woonboerderij-de-tegeltaks-.html>; d.d. 05-02-2018). In Berlijn betalen burgers al €1,84/m² verhard oppervlak/jaar (https://www.welt.de/print/die_welt/hamburg/article10416092/Regensteuer-tritt-2012-in-Kraft.html; d.d. 05-02-2017). Door al het regenwater op te vangen en te zuiveren tot drinkwater worden problemen met het riool voorkomen. Dit betekent dat de inwoners van een wijk waarin dit gebeurt dus geen tegeltax zouden hoeven te betalen. De Berlijnse tegeltax (€1,84/m²) is goed onderbouwd om goedkeuring te krijgen deze belasting in Berlijn in te voeren. Daarom is in dit rapport deze tegeltax genomen als een referentie en als inschatting voor de op deze manier uit te sparen kosten. De totale besparing is berekend op basis van het aantal m² verhard oppervlak in de wijk. Dit compenseert dan (deels) de hogere kosten die kleinschalige drinkwaterproductie met zich meebrengt. Uiteindelijk zijn alle kosten omgerekend naar de kosten voor 1 m³ drinkwater. Aangezien het bebouwde en verharde oppervlak in Centru-meiland ongeveer 55600 m² bedraagt, zou een eventuele tegeltax neerkomen op $1,02 \cdot 10^5$ euro. Bij een productie van $6,41 \cdot 10^4$ m³, komt dit neer op €1,60/m³. Dit betekent dus dat de kostenbesparing voor het waterschap zou neerkomen op €1,60/m³. Overigens zijn er nog geen grootschalige plannen voor de invoering van een dergelijke tegeltax. In deze berekening is de bijdrage van wegen en dergelijke niet meegenomen, aangezien dat in steden waar een tegeltax bestaat ook niet het geval is.

Voor de LCA is alleen gekeken naar "consumables", en zijn aan te leggen leidingnetten en apparatuur niet meegenomen. De reden hiervoor is dat het heel lastig is om dit bij decentrale zuivering te vergelijken met de huidige situatie, met een bestaand leidingnet en zuiveringsproces. Alle scenario's zijn doorgerekend op twee manieren. Bij de eerste is uitgegaan van een NL-marktconforme stroom (oftewel een combinatie van wat er in Nederland gemiddeld wordt afgenomen aan steenkool-, wind-, zonne-, en kernenergie etc). In het tweede geval is uitgegaan van windenergie, dus van groene stroom. Aangezien duurzaamheid een belangrijke drijfveer is voor het verkennen van de mogelijkheid om van regenwater drinkwater te maken, is het aannemelijk dat de scenario's gebaseerd op groene

stroom het meest realistisch zijn. Daarom zijn de resultaten met marktconforme stroom in Bijlage II weergegeven.

Er zijn twee verschillende scenario's door gerekend voor Centrumeiland:

Scenario 1:

- Water wordt verzameld in een grote, open vijver, gemaakt van beton om te voorkomen dat het water eruit weglekt, of dat ander water erin terechtkomt.
- Van hieruit wordt het water naar een RO-eenheid met een membraanoppervlak van 400 m² gepompt, met behulp van pompen met capaciteit van 10 m³/uur
- De RO-eenheid heeft een recovery van 90%, influent 7,3*10³ m³/uur, effluent 6,6*10³ m³/uur
- Vervolgens vindt marmerfiltratie plaats om het water te conditioneren. Normaal wordt hier een marmerfilter of dolomietfilter voor gebruikt, maar in onze berekeningen zijn we uitgegaan van calcië uit de zuivering in Leiduin.
- Met behulp van UV wordt het water gedesinfecteerd. Hiervoor zou bijvoorbeeld gebruik gemaakt kunnen worden van een UV-reactor als de D130 reactor van van Remmen UV Techniek, met 1 LD-UV lamp (Hereaus NNI 125-84-XL), met een elektrisch vermogen van 120 W, die in eerder onderzoek beschreven is (Hofman-Caris et al. 2017). Het debiet voor geavanceerde oxidatie-toepassingen was bij deze reactor 1-2,5 m³/uur, wat betekent dat het debiet voor desinfectie ongeveer een factor 10 hoger ligt. Deze reactoren zijn als voorbeeld in de berekening meegenomen, omdat hiervoor uit eerder onderzoek veel over het energieverbruik bekend is.
- Het gezuiverde water wordt opgeslagen in twee enkelvoudig gecoate stalen buffervaten met een totale capaciteit van 10,000 m³.
- Deze tanks zijn voorzien van een absoluut filter (van Borselen BorsopTFE BPF17SP002) om de binnenkomende lucht te zuiveren en hercontaminatie van het gezuiverde water te voorkomen.
- Distributie van het water met een Grundfos CR15-05 pomp voor levering aan de huishoudens
- Dit proces wordt continu bedreven.

N.B. Uiteraard komt er bij het toepassen van RO een concentraat vrij, dat verder verwerkt zal moeten worden. Bij deze berekeningen was het doel voornamelijk om een eerste inschatting te verkrijgen van de grootteorde van de kosten en mogelijke positieve effecten voor het milieu. De verwerking van het concentraat en bv. het feit dat de RO-installatie waarschijnlijk uit vijf elementen zou moeten bestaan, die in recirculatie bedreven worden, zijn voorlopig niet meegenomen in de kostenberekeningen.

Scenario 2:

- Water wordt verzameld in een grote, open vijver, gemaakt van beton.
- Van hieruit wordt het naar een snelle zandfilter gepompt, met behulp van pompen met capaciteit van 10 m³/uur
- Het snelle zandfilter is 2 m diep, heeft een oppervlak van 1,3 m², en bevat 3000 kg zand (stortvolume 1500 kg/m³; dichtheid 2600 kg/m³).
- Vervolgens wordt H₂O₂ aan het water toegevoegd, en wordt het door een UV-reactor geleid. Hiervoor zijn we uitgegaan van bijvoorbeeld de NEW reactor van Van Remmen UV Techniek, met 4 lampen à 300 W, en een debiet van 10 m³/uur (bij UV-T >85%; anders D150 reactor) (Hofman-Caris et al. 2017).

- Het water wordt met een heel korte contacttijd gefilterd over actieve kool, om de overmaat H_2O_2 en de eventueel gevormde bijproducten te verwijderen. Het filterbed is 2 m diep, met een oppervlak van 1,65 m², en een totale hoeveelheid actieve kool van 1320 kg. De verblijftijd is circa 20 min.
- Met behulp van marmerfiltratie wordt het water geconditioneerd. Ook hierbij zijn we uitgegaan van calcië uit de zuivering van Leiduin.
- Het gezuiverde water wordt opgeslagen in twee enkelvoudig gecoate stalen buffervaten met een totaal volume van 10,000 m³.
- Deze tanks zijn voorzien van een absoluut filter (van Borselen BorsopTFE BPF17SP002) om de binnenkomende lucht te zuiveren en hercontaminatie van het gezuiverde water te voorkomen.
- Distributie van het water met een Grundfos CR15-05 pomp voor levering aan de huishoudens
- Dit proces wordt continu bedreven.

N.B. Ook in dit geval geldt dat het hier een globale inschatting van de kosten betreft, waarbij in dit geval het terugspoelen van het zandfilter en de verwerking van het spoelwater nog niet zijn meegenomen. Daarnaast is het waarschijnlijk wenselijk na de marmerfiltratie nog een UV-desinfectiestap toe te voegen, om problemen met eventuele micro-organismen vanuit de filters te voorkomen. Hiervoor zal een lage UV-dosis voldoende zijn. Dit is echter in het overzicht in overleg met Waternet niet meegenomen, omdat UV/ H_2O_2 op zich al een effectieve desinfectiestap is. Vanwege duurzaamheidsaspecten is voor de marmerfiltratie uitgegaan van calcië dat tijdens de ontharding in Leiduin wordt gevormd. Voor de veiligheid is het misschien nodig om deze korrels te desinfecteren. Hiervoor is een opslagtank nodig waaraan, chloor wordt toegevoegd.

Gezuiverd water zal een tijd lang bewaard moeten kunnen. Dat betekent dat er op die tanks een absoluutfilter geplaatst moet worden dat de binnenkomende lucht zuivert.

Er is aangenomen dat het aantal inwoners van de wijk niet hoger is dan het aantal dat op deze manier van voldoende drinkwater kan worden voorzien.

3.2 Situatie Holysloot

Bij Holysloot is een andere aanpak gevolgd. Aangezien hier in principe veel meer ruimte beschikbaar is, zijn we ervan uitgegaan dat het dakoppervlak van deze woning voldoende groot is om genoeg water te kunnen opvangen om te voorzien in de drinkwaterbehoefte van een gemiddeld gezin (2,2 personen). Uitgaande van een waterverbruik van ongeveer 120 L per persoon per dag

(http://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Drinkwaterstatistieken_Vewin_2015.pdf) komt het totale watergebruik uit op 96,4 m³ per jaar. Om over voldoende water te kunnen beschikken is het belangrijk dat al het water dat tijdens piekbuien valt kan worden opgevangen. Bovendien kan op die manier overlast door piekbuien worden voorkomen, wat leidt tot een kostenbesparing die moet worden meegenomen in de totale kosten berekening.

Bij opvang van het regenwater in een gesloten tank is het belangrijk dat het water niet al te zeer verontreinigd is. Daarom verdient het aanbeveling hier het principe van first flush toe te passen, en de eerste hoeveelheid regenwater (circa 2 mm) die op een dak valt niet op te vangen maar af te voeren, omdat die relatief sterk vervuild is (Hofman-Caris et al. 2017). Rekening houdend met een run-off coëfficiënt van 0,8 en het first flush principe, is het

mogelijk om in Nederland 411 mm regen per jaar op te vangen (zie 3.1 en (Hofman-Caris et al. 2017)). Hieruit volgt dat het benodigde oppervlak, om voldoende water op te kunnen vangen om in de volledige waterbehoefte van een gemiddeld gezin te voorzien, 234,7 m² bedraagt. In dit scenario is een relatief grote zuiveringsinstallatie nodig, omdat het opgevangen regenwater in korte tijd gezuiverd moet kunnen worden. Hiervoor zijn twee redenen:

1. Ongezuiverd water kan niet voldoende lang worden opgeslagen
2. Het water in de eerste opvangtank moet snel kunnen worden gezuiverd, om plaats te maken om een eventueel volgende piekbui te kunnen opvangen.

Bij opvang in een open vijver is toepassing van een first flush niet zinvol. Dat betekent dat alleen rekening hoeft te worden gehouden met de run-off coëfficiënt, en dat een oppervlak van 141 m² volstaat.

Om het gezuiverde water een tijd lang te kunnen bewaren zal er op drinkwatertank een absoluutfilter geplaatst moet worden dat de binnenkomende lucht zuivert.

Om de afstand te berekenen waarop de kosten van het aanleggen van een aansluiting op het drinkwaternet opwegen tegen de aanleg en bedrijfsvoering van een lokale regenwaterzuivering, is er een inschatting gemaakt van de netto kosten van een dergelijke zuivering. Deze netto kosten zijn berekend over een termijn van 20 jaar en bestaan uit de kosten voor de bouw en het onderhoud van de zuiveringsinstallatie minus de kosten voor waterafname bij Waternet en de kosten voor 'tegeltax', als proxy voor besparingen ten gevolge van een afname van (water)overlast bij extreme neerslag (zie paragraaf 3.1).

Door regenwater decentraal te zuiveren tot drinkwater vervalt de rekening voor het vastrecht voor het jaarlijkse waterverbruik. In 2018 bedraagt de jaarrekening van een gemiddeld Nederlands gezin in Holysloot 188 euro aan drinkwaterbedrijf (<https://www.waternet.nl/service-en-contact/drinkwater/kosten/met-watermeter/maandbedrag-100m3/>). Dit bedrag is inclusief 6% BTW, milieubelasting, vaste kosten en kosten voor het watergebruik zelf.

Verder vervalt de noodzaak voor aansluiting op het drinkwaternet voor de drinkwatervoorziening. De kosten voor aansluiting op het drinkwaternet per meter aan te leggen drinkwaterleiding zijn (sterk) afhankelijk van het type ondergrond waarin gegraven moet worden en de lokale infrastructuur (gebouwen, wegen, natuurlijke barrières, etc.) (Hofman-Caris et al. 2017). Daarom is voor de kosteninschatting voor het huis in Holysloot de volgende vuistregel voor het aanleggen van een drinkwaterleiding gebruikt: één euro per millimeter leidingdiameter per meter leiding (Mesman 2018). De standaard diameter van een dienstleiding voor een woning is 32 mm. De kosten voor het aanleggen van deze leiding op basis van bovengenoemde vuistregel bedragen dus 32 euro per meter aangelegde drinkwaterleiding. Bij dit bedrag gaat men uit van een levensduur van 60 jaar van een nieuw aangelegde drinkwaterleiding; een factor 3 langere levensduur dan de 20 jaar die aangenomen is als afschrijvingstermijn voor de te realiseren zuiveringsinstallatie. Om voor dit verschil te compenseren is aangenomen dat er iedere 20 jaar een nieuwe zuiveringsinstallatie met vergelijkbare kosten zal worden gebouwd om voor een periode van 60 jaar het gezin van gezuiverd regenwater te voorzien. Dit komt rekenkundig overeen met een vergelijking met 1/3^{de} deel van de kosten voor aanleg van een leiding, maar aangezien

die in de praktijk betaald moet worden bij aanleg, zijn de kosten vergeleken met de aanleg van drie zuiveringsinstallaties in die periode.

Het decentraal zuiveren van regenwater levert ook voor gemeenten en waterschappen voordeel op; door de toegenomen lokale buffercapaciteit is de kans op wateroverlast en/of waterschade bij piekbuien kleiner en kan de waterstand bij piekbuien gemakkelijker worden beheerst. Om voor deze kosten voor de overheid te compenseren is in sommige Duitse gemeenten al een zogenaamde “tegeltax” ingevoerd (zie paragraaf 3.1). Ook in de situatie van de woning in Holysloot is de Berlijnse tegeltax genomen als een maat voor de uitgespaarde kosten door regenwateropvang. Ervan uitgaande dat een eventuele tegeltax geheven zou worden op 235 m², betekent dit een kostenpost van €432,40/jaar. Bij een productie van 96,43 m³ drinkwater zou dit dan een besparing opleveren van €4,48/m³.

Een nadeel van het boven beschreven systeem is dat gezuiverd water gedurende langere tijd opgeslagen moet kunnen blijven, waardoor de kwaliteit achteruit kan gaan. Bovendien is een relatief grote zuiveringscapaciteit nodig, omdat het water in korte tijd gezuiverd moet kunnen worden. Een groot deel van het jaar zal die zuivering niet in gebruik zijn. Een andere optie is om, net als in de scenario's voor Centrum-eiland, uit te gaan van de opvang en opslag van ongezuiverd water. Dit betekent wel dat een relatief grote vijver moet worden aangelegd bij de individuele woning in het buitengebied. Bij opvang in een open vijver is het echter niet nodig om een first flush toe te passen. Dit betekent dus ook dat het benodigde dakoppervlak kleiner wordt (141 m² in plaats van 235 m²). Als gevolg daarvan komt een eventuele tegeltax, en dus mogelijke kostenbesparing, in dit geval op €259,44/jaar, ofwel €2,69/m³ drinkwater. In scenario 5 en 6 zijn de zuiveringen, gebaseerd op een open vijver voor een individuele woning in het buitengebied, uitgewerkt.

Merk op dat in een dergelijk decentraal systeem een alternatief gezocht moet worden voor bluswatervoorziening (60 m³/h). In het geval van Holysloot vormt dit geen probleem, aangezien er voldoende oppervlaktewater voor handen is.

Voor de woning in het buitengebied van Holysloot zijn de volgende vier scenario's voor zuiveringsinstallaties doorgerekend (zie hoofdstuk 5). Bij scenario's 3 en 4 wordt het “vuile” regenwater opgevangen in een gesloten tank. Aangezien dit water niet lang bewaard kan worden, moet het snel worden gezuiverd, waarna het schone drinkwater in een andere tank wordt opgeslagen

Scenario 3 (gesloten opvangtank, RO-systeem):

- Opvang regenwater op dak
- Rooster om bladeren en takjes e.d. te verwijderen
- Vuilwatertank voor opvang regenwater van kunststof (HDPE) met een inhoud van 12 m³
- Vanuit de vuilwatertank wordt het water naar een RO-eenheid gepompt, met behulp van pompen met capaciteit van 1,25 m³/uur
- De RO-eenheid heeft een recovery van 90%, influent 1,11 m³/uur, effluent 1 m³/uur en een totaal membraanoppervlak van 40 m²
- Vervolgens vindt marmerfiltratie plaats om het water te conditioneren. Normaal wordt hier een marmerfilter of dolomietfilter voor gebruikt, maar in onze berekeningen zijn we uitgegaan van calcië uit de zuivering in Leiduin.

- Met behulp van UV wordt het water gedesinfecteerd. Hiervoor zou gebruik gemaakt kunnen worden van een UV-reactor als de in eerder onderzoek beschreven V110 reactor van Van Remmen UV Techniek, met één LD-UV lamp (Hereaus NNI 125-84-XL), met een elektrisch vermogen van 120 W (Hofman-Caris et al. 2017, van Remmen 2017). Het debiet voor geavanceerde oxidatie-toepassingen was bij deze reactor 1-2,5 m³/uur, wat betekent dat het debiet voor desinfectie ongeveer een factor 10 hoger ligt, waardoor hij geschikt zou kunnen zijn voor deze toepassing.
- Twee kunststoffen (HDPE) schoonwatertanks voor opslag van gezuiverd water met een totale inhoud van 40 m³. Deze tanks zijn voorzien van een absoluut filter (van Borselen BorsoPTFE BPF17SP002) om de binnenkomende lucht te zuiveren en hercontaminatie van het gezuiverde water te voorkomen.
- Het water wordt gedistribueerd met een pomp (Grundfos CR1-7) met een maximale capaciteit van 2 m³/uur bij circa 3 bar voor levering van water aan het huishouden

Eventueel kan recirculatie over de UV-reactor en distributiepomp worden toegepast.

Net als in het scenario voor Centru-meiland is ook hier voorlopig geen rekening gehouden met de verwerking van het concentraat.

Scenario 4 (gesloten opvangtank en AOP):

- Opvang regenwater op dak
- Rooster om bladeren en takjes e.d. te verwijderen
- Vuilwatertank voor opvang regenwater van kunststof (HDPE) met een inhoud van 12 m³
- Vanuit de vuilwatertank wordt het water naar een snelle zand filtratie gepompt, met behulp van pompen met capaciteit van 1 m³/uur
- Het snelle zandfilter is 1,5 m diep, heeft een oppervlak van 0,167 m², en bevat 650 kg zand (stortvolume 1500 kg/m³; dichtheid 2600 kg/m³)
- Vervolgens wordt H₂O₂ aan het water toegevoegd, en wordt het door een UV-reactor geleid. Hiervoor zijn we uitgegaan van bijvoorbeeld de D130 reactor van van Remmen UV Techniek, met één lamp à 120 W, en een debiet van 1 m³/uur (bij UV-T >85%; anders V170 reactor) (Hofman-Caris et al. 2017, van Remmen 2017).
- Filtratie over actieve kool om de overmaat H₂O₂ en de eventueel gevormde bijproducten te verwijderen. Het filterbed is 1,5 m diep, met een oppervlak van 0,165 m², en een totale hoeveelheid actieve kool van 99 kg. De verblijftijd is circa 20 min.
- Twee kunststoffen (HDPE) schoonwatertanks voor opslag van gezuiverd water met een totale inhoud van 40 m³. Deze tanks zijn voorzien van een absoluut filter (van Borselen BorsopTFE BPF17SP002) om de binnenkomende lucht te zuiveren en hercontaminatie van het gezuiverde water te voorkomen.
- Het water wordt gedistribueerd met een pomp (Grundfos CR1-7) met een maximale capaciteit van 2 m³/uur bij circa 3 bar voor levering van water aan het huishouden.

Ook hier zou een extra UV-desinfectie achter de actieve kool geplaatst kunnen worden. In elk geval zal desinfectie nodig zijn van de calciëtkorrels uit Leiduin.

Scenario 5 (open opvangvijver en RO):

- Opvang regenwater op dak
- Rooster om bladeren en takjes e.d. te verwijderen
- Open vijver voor opvang regenwater van beton met een inhoud van 20 m³
- Vanuit de open opvangvijver wordt het water naar een zakfilter (van Borselen X100) met een poriegrootte 25 µm gepompt.
- Na het zakfilter wordt het water door een compact omgekeerde osmose systeem (APEC light commercial) behandeld, dat bestaat uit achtereenvolgens een 5 µm sedimentfilter, twee 5 micron actief kool filters, een RO membraan en UV reactor. De RO-eenheid heeft een recovery van 25%
- Vervolgens wordt het water over een remineralisatiefilter (APEC in-line remineralization filter) geleid, wat de pH verhoogt door calcium carbonaat toe te voegen
- Het water wordt verzameld in een schoonwaterbuffer (HDPE) met een inhoud van 2 m³. Deze tank is voorzien van een absoluut filter (van Borselen BorsopTFE BPF17SP002) om de binnenkomende lucht te zuiveren en hercontaminatie van het gezuiverde water te voorkomen.
- Het water wordt gedistribueerd met een pomp (Grundfos CR1-7) met een maximale capaciteit van 2 m³/uur bij circa 3 bar voor levering van water aan het huishouden

Scenario 6 (open opvangvijver en AOP):

- Opvang regenwater op dak
- Rooster om bladeren en takjes e.d. te verwijderen
- Open vijver voor opvang regenwater van beton met een inhoud van 20 m³
- Vanuit de open opvangvijver wordt het water door achtereenvolgens een zakfilter (van Borselen X100) met een poriegrootte 25 µm en een kaarsenfilter (van Borselen A07PP005-09NNP) met een poriegrootte van 5 µm geleid.
- Vervolgens wordt H₂O₂ aan het water toegevoegd, en wordt het door een UV-reactor (APEC light commercial) geleid.
- Een carbon bloc filter (van Borselen VB06BE005-090DP) behandelt het water om de overmaat H₂O₂ en de eventueel gevormde bijproducten te verwijderen.
- Vervolgens wordt het water over een remineralisatiefilter (APEC in-line remineralization filter) geleid wat de pH verhoogt door calcium carbonaat toe te voegen
- Het water wordt verzameld in een schoonwaterbuffer (HDPE) met een inhoud van 2 m³. Deze tank is voorzien van een absoluut filter (van Borselen BorsoPTFE BPF17SP002) om de binnenkomende lucht te zuiveren en hercontaminatie van het gezuiverde water te voorkomen.
- Het water wordt gedistribueerd met een pomp (Grundfos CR1-7) met een maximale capaciteit van 2 m³/uur bij circa 3 bar voor levering water aan het huishouden

De kosten voor verplichte analyses zijn even hoog, ongeacht de hoeveelheid water die wordt behandeld. Hierdoor zijn die kosten voor Holysloot relatief vrij hoog: €25,93/m³ drinkwater.

Op basis van deze gegevens is berekend bij welke afstand tot het centrale drinkwaterleidingnet aanleg van een decentrale zuivering goedkoper wordt dan de aansluiting op dat centrale drinkwaterleidingnet.

4 Levenscyclusanalyse (LCA)

4.1 Methode

Voor deze LCA is gebruik gemaakt van SimaPro 8 software. De achtergrondinformatie hiervoor is afkomstig uit de EcolInvent 3.0 database. De berekeningen zijn uitgevoerd met ReCiPe Endpoint € V1.10/Europe ReCiPe E/A, en uitgedrukt in ecopunten. Er is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van data die specifiek zijn voor Nederland. Indien deze niet beschikbaar waren is deze volgorde toegepast: 1) data voor Europa (RER), 2) Zwitserland (CH), en 3) de rest van de wereld (ROW). In de hier gerapporteerde analyse komen 1.000 ecopunten (Pt) overeen met de milieu-impact van één West-Europees persoon per jaar.

Voor de LCA-berekeningen hebben we alleen “consumables” van de chemicaliën en energie in aanmerking genomen, niet de eventuele bouw van installaties en aanleg van leidingen. Er is hiervoor gekozen omdat het heel lastig is de milieu-impact van het aanwezige drinkwaterleidingnet en de bestaande centrale zuivering (voor wat betreft installaties en materialen) op een eerlijke manier te vergelijken met een nieuw aan te leggen systeem.

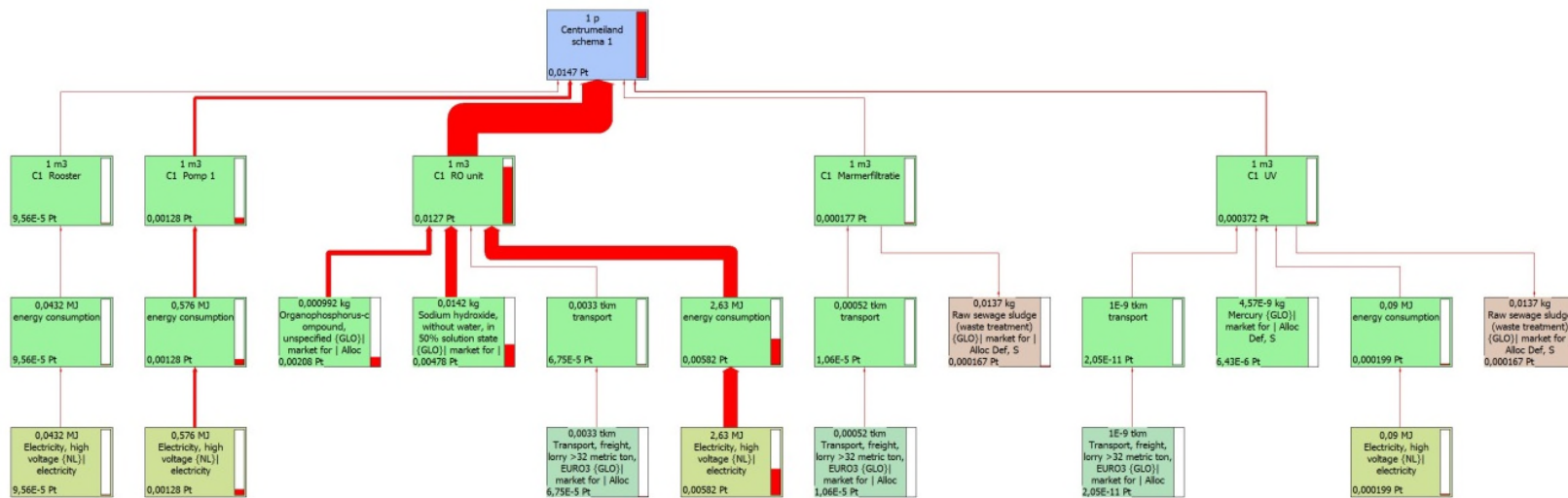
Alle berekeningen zijn uitgevoerd zowel op basis van markt-conforme energie als op basis van windenergie (wat hier model staat voor groene energie). De resultaten voor markt-conforme energie zijn in Bijlage II weergegeven, die op basis van groene energie in de volgende paragrafen. Hiervoor is gekozen omdat de drijfveer voor het gebruik van regenwater voor de productie van drinkwater voor veel mensen toch een duurzaamheidsaspect is, en dan is het ook logisch uit te gaan van groene stroom.

De functionele eenheid, waarop alle berekeningen zijn gebaseerd, is 1 m³ geproduceerd drinkwater.

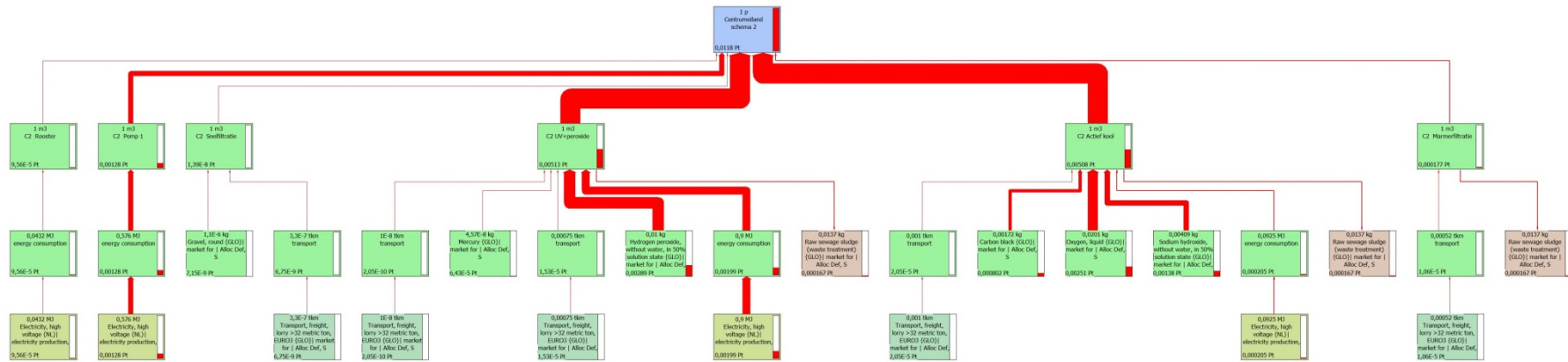
4.2 Resultaten voor Centrumeiland

Voor de beide scenario's van centrumeiland is het resultaat van de LCA-berekeningen een boomstructuur, uitgaande van de groene energie. Deze beide boomstructuren zijn weergegeven in Figuur 5. De boomstructuren die horen bij scenario's gebaseerd op marktconforme energie zijn weergegeven in Bijlage II.

De dikte van de rode pijlen is evenredig met de milieu-impact van het betreffende proces of materiaal. Bij scenario 1 (met RO) wordt de grootste impact veroorzaakt door het energieverbruik van de membraaninstallatie. Bij toepassing van marktconforme energie hebben de benodigde pompen een relatief grote impact in vergelijking met de andere processen, wat ook hier veroorzaakt wordt door hun energieverbruik (zie Bijlage II). Bij gebruik van groene energie in Figuur 4 en Figuur 5 (windenergie) blijkt deze impact veel kleiner te zijn. Dit energieverbruik van de pompen komt ook terug in het tweede scenario met UV/H₂O₂, waar blijkt dat de milieu-impact hierdoor iets groter is dan de impact van de actieve koolfiltratie. De grootste impact in scenario 2 zit echter in het energieverbruik van de UV-reactor (en een beetje in de H₂O₂-productie), maar die impact is kleiner dan die van de RO-membraaninstallatie.

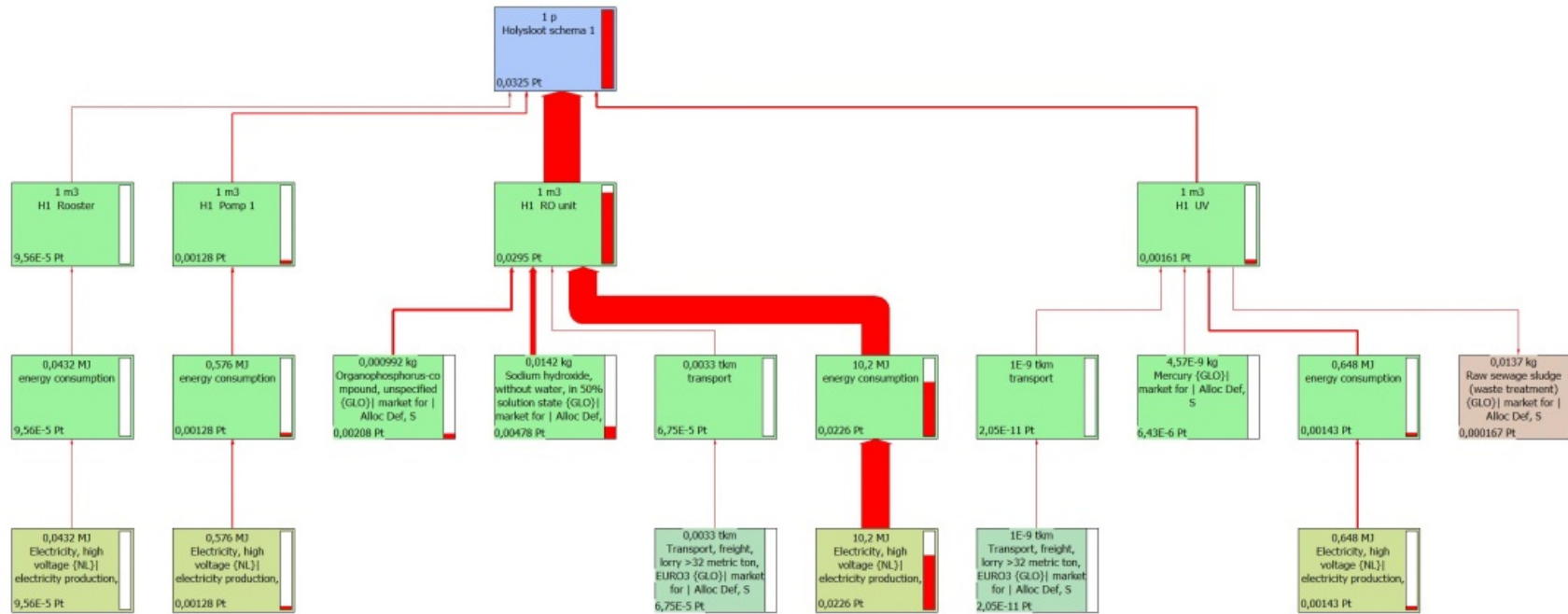


FIGUUR 4:BOOMSTRUCTUUR VOOR HET RO-SCENARIO IN CENTRUMEILAND BIJ TOEPASSING VAN WINDENERGIE.

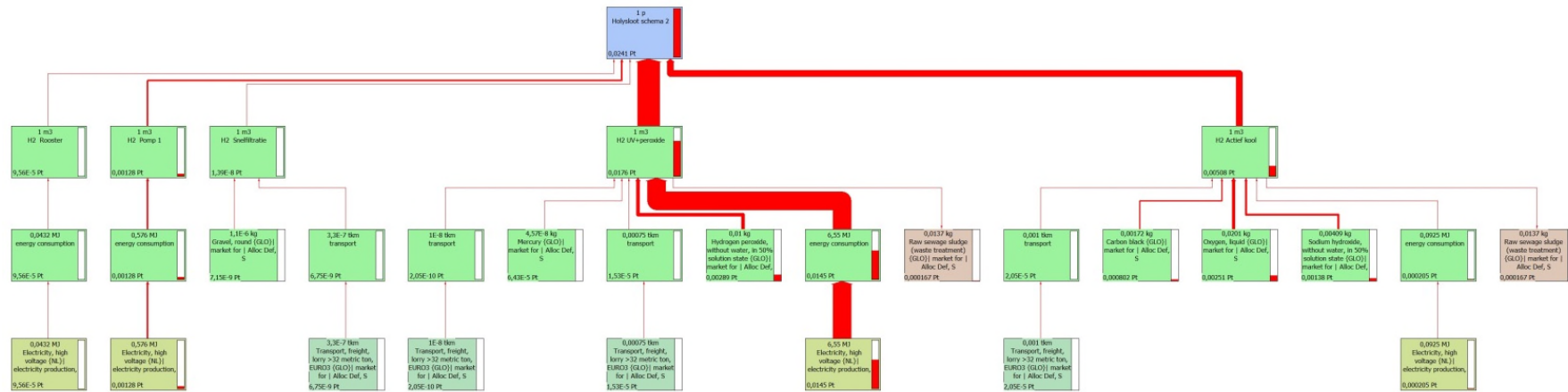
FIGUUR 5: BOOMSTRUCTUUR VOOR HET UV/H₂O₂ SCENARIO IN CENTRUMEILAND BIJ TOEPASSING VAN WINDENERGIE.

4.3 Resultaten voor Holysloot

In Figuur 6 en Figuur 7 zijn de boomdiagrammen voor Holysloot weergegeven. Hierbij is uitgegaan van de zuivering in scenario's 3 en 4. Aangezien alleen consumables zijn meegenomen in de berekeningen, zijn de LCA-berekeningen alleen voor scenario 3 en 4 gedaan, want de milieu-impact per m³ drinkwater zal dan in scenario 5 en 6 niet anders zijn. Het beeld komt overeen met het beeld in de boomdiagrammen voor Centrameiland. De grootste impact bij het RO-scenario wordt veroorzaakt door het energieverbruik van de membraaninstallatie. Bij het op UV/H₂O₂ gebaseerde proces zit de grootste impact in het energieverbruik van de UV-reactor, maar die impact is kleiner dan van de RO-membranen. Daarnaast dragen ook hier de pompen bij aan de milieu-impact, vanwege hun energieverbruik.



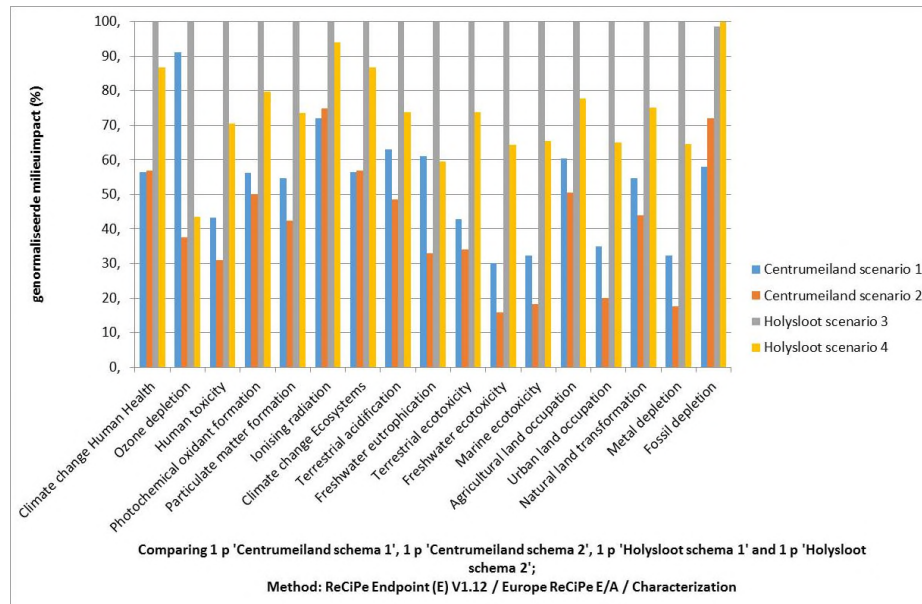
FIGUUR 6: BOOMSTRUCTUUR VOOR HET RO-SCENARIO IN HOLYSLOOT BIJ TOEPASSING VAN WINDENERGIE.



FIGUUR 7: BOOMSTRUCTUUR VOOR HET UV/H_2O_2 -SCENARIO'S IN HOLYSLOOT BIJ TOEPASSING VAN WINDENERGIE. BOVEN: SCENARIO GEBASEERD OP RO (SCENARIO 3); BENEDEN: SCENARIO GEBASEERD OP UV/H_2O_2 (SCENARIO 4).

4.4 Vergelijking milieu-impact Centrumeiland en Holysloot

In Figuur 8 is de impact op de verschillende terreinen apart weergegeven, waarbij de grootste invloed is genormeerd op 100%.

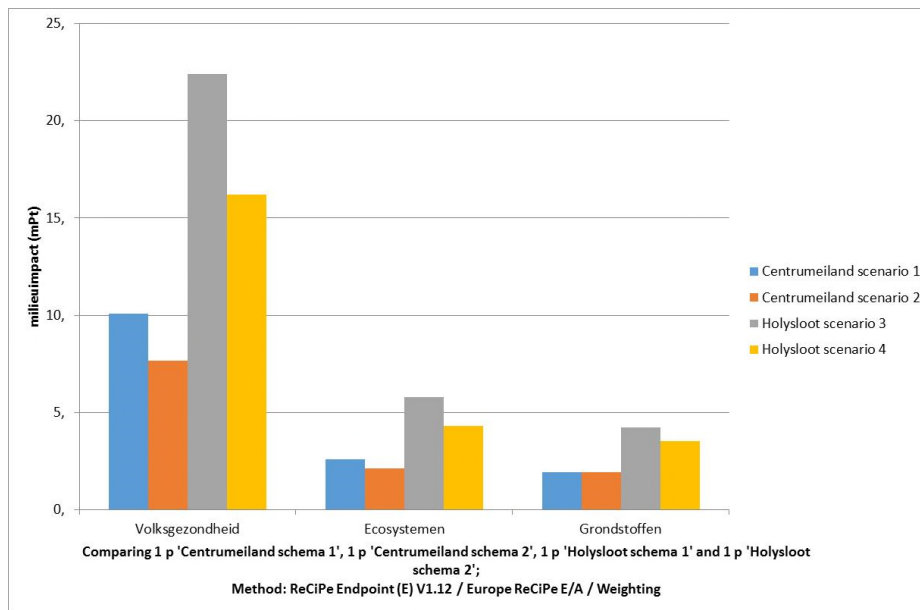


FIGUUR 8: GENORMEERDE INVLOED VAN DE VIER SCENARIO'S OP VERSCHILLENDE TERREINEN, BIJ GEBRUIK VAN WINDENERGIE

Uit deze resultaten blijkt dat de impact van de kleinschalige zuivering in Holysloot het grootste is op vrijwel alle terreinen. Dit hangt samen met de overgedimensioneerde zuivering, die nodig is om piekbuien te kunnen verwerken. Daardoor moet een relatief grote zuivering worden geplaatst, die slechts een deel van de tijd in bedrijf is, waardoor de impact per m³ geproduceerd drinkwater relatief hoog wordt. Bij Centrumeiland is de milieu-impact van allebei de scenario's in de meeste gevallen aanzienlijk kleiner. De invloed op de ecotoxiciteit is in het algemeen wel lager dan op andere terreinen, zoals gebruik van fossiele brandstoffen, ioniserende straling en klimaatverandering.

Verder blijkt in beide scenario's dat de impact van het scenario met RO ongeveer 30% groter is dan die van het scenario gebaseerd op UV/H₂O₂. Dit heeft te maken met het energieverbruik van de membraaninstallatie. Eventueel zou bij het UV/H₂O₂ scenario na de actieve kool een extra desinfectie nodig zijn, maar die zou slechts een lage dosis nodig hebben (waarschijnlijk ongeveer 20-30 mJ/cm², dus ongeveer een factor 20 lager dan voor het UV/H₂O₂ proces), en daardoor relatief weinig bijdragen aan de totale impact.

In Figuur 9 wordt de impact samengevat per milieuterrein, waarbij de impact in ecopunten wordt weergegeven. Een vuistregel is dat 1.000 ecopunten (Pt) overeen komen met de milieu-impact van één West-Europees persoon per jaar. Aangezien de impact hier in Pt/m³ wordt weergegeven, moet die dus voor een totaalbeeld met ongeveer 50 (verbruik van 50 m³ per persoon per jaar) worden vermenigvuldigd, waarmee de totale impact van drinkwaterzuivering voor één persoon op maximaal 1 ecopunt per jaar uitkomt.

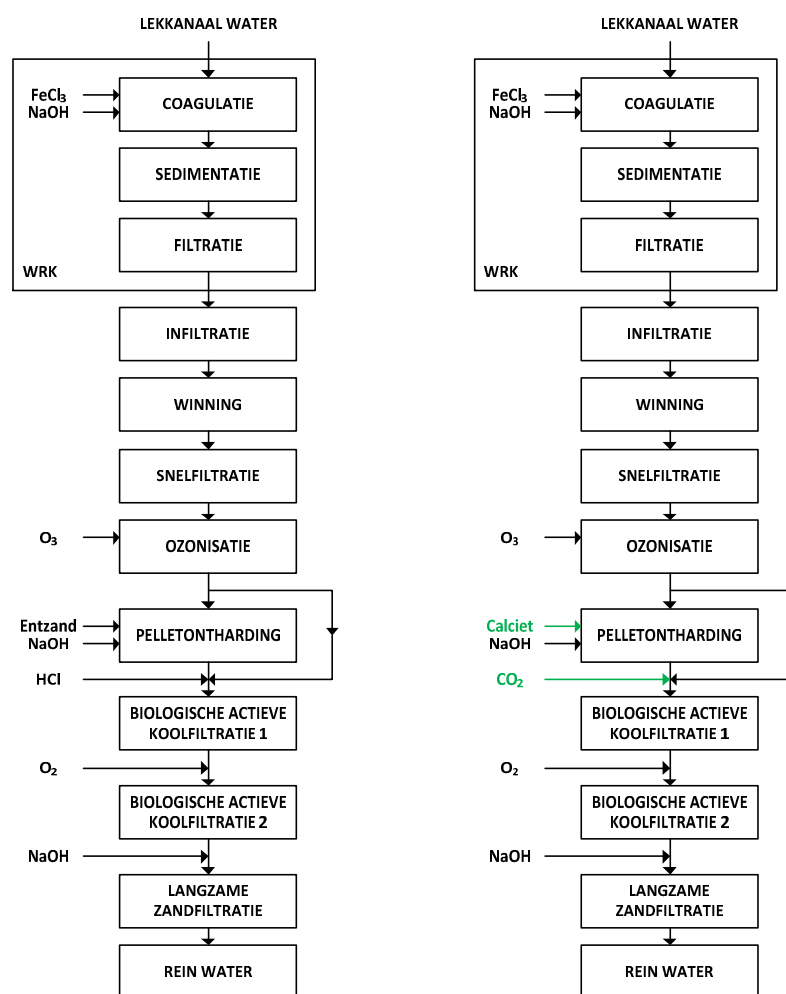


FIGUUR 9: GENORMEERDE MILIEU-IMPACT PER TERREIN BIJ GEBRUIK VAN WINDENERGIE

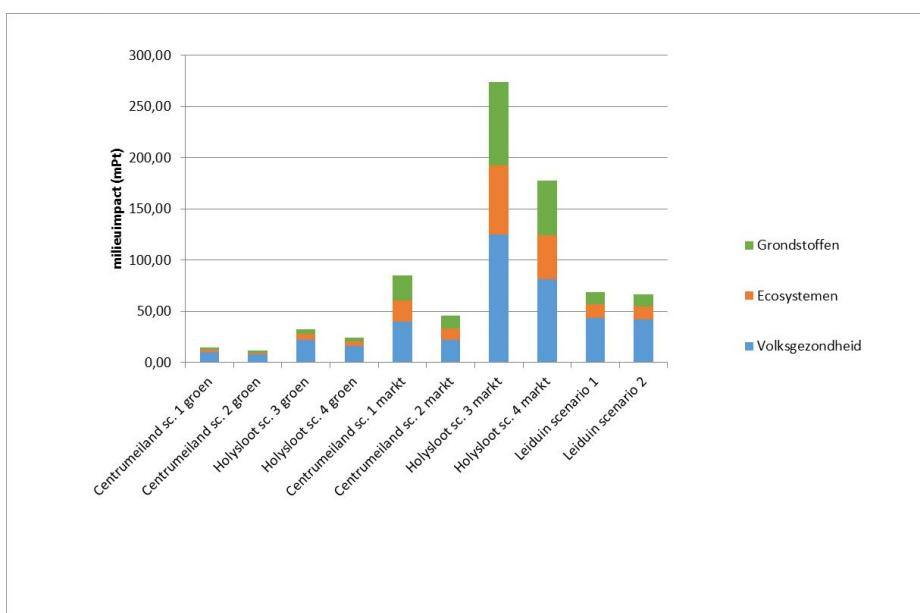
Uit Figuur 9 blijkt dat de milieupact van de verschillende scenario's op het terrein van ecosystemen en grondstoffen) vrijwel even groot is, maar dat de impact op volksgezondheid aanzienlijk groter is. Beide RO-scenario's hebben een grotere impact dan het systeem met UV/H₂O₂, wat wordt veroorzaakt door hun grotere energieverbruik. Bij de impact op ecosystemen en grondstoffen is dat verschil veel kleiner. De impact van de kleinschalige zuivering in Holysloot is ongeveer twee keer zo groot als die van de zuivering op wijkschaal. Toch kan ook worden geconcludeerd dat, in vergelijking tot de totale impact op het milieu van een persoon de bijdrage van de productie van drinkwater vrij gering is.

Uit een vergelijking met de impact die deze processen zouden hebben als gebruik zou worden gemaakt van marktconforme stroom (zie Figuur 19) blijkt dat de impact bij gebruik van groene stroom significant lager is.

In het kader van een onderzoek naar nieuwe methoden om drinkwater te ontharden bij productielocatie Leiduin van Waternet is enkele jaren geleden ook een LCA uitgevoerd (Hofman-Caris et al. 2016). Hierbij is het complete zuiveringsproces onder de loep genomen. Dit proces is weergegeven in Figuur 10. Bij deze LCA is in beide zuiveringsscenario's uitgegaan van calciëet als entmateriaal. Bij het eerste scenario vindt de pH-correctie nog plaats met behulp van zoutzuur, bij het tweede scenario is dat zoutzuur vervangen door CO_2 . De resultaten van deze analyses voor de hele Leiduin zuivering zijn weergegeven in Figuur 11, waarin ze worden vergeleken met de huidige scenario's voor Centrumeiland en Holysloot, zowel met marktconforme energie als met windenergie.



FIGUUR 10: COMPLETE ZUIVERINGSPROCES VOOR PRODUCTIELOCATIE LEIDUIN. LINKS: OORSPRONKELIJKE SITUATIE MET ONTHARDING MET BEHULP VAN ENTZAND EN PH-CORRECTIE MET BEHULP VAN HCL; RECHTS: NIEUWE SITUATIE MET PELLETONTHARDING MET BEHULP VAN CALCIET EN PH-CORRECTIE MET CO_2 .



FIGUUR 11: SINGLE POINT VERGELIJKING VAN VERSCHILLENDE ZUIVERINGSSCENARIO'S. VOOR DE SCENARIO'S IN LEIDUIN IS IN DEZE GRAFIEK UITGEGAAN VAN MARKT-CONFORME ENERGIE.

Uit Figuur 11 blijkt duidelijk dat bij het gebruik van groene stroom in plaats van marktconforme stroom de beide processen, RO en UV/H₂O₂, veel dichterbij elkaar komen te liggen wat betreft impact, en ook dat de totale impact veel kleiner wordt. Een overzicht van de totale milieu-impact, waarin ook het effect van het gebruik van groene energie in Leiduin is aangegeven, wordt getoond in Tabel 2. Hierin is ook de impact uitgedrukt als CO₂-voetafdruk

TABEL 2: VERGELIJKING TOTALE MILIEUIMPACT EN CO₂-VOETAFDruk PER M³ DRINKWATER VAN VERSCHILLENDE PROCESSEN MET CENTRALE DRINKWATERZUIVERING IN LEIDUIN

scenario	Totale impact (mPt)	CO ₂ voetafdruk (kg CO ₂)
Centrumeland Sc. 1 groene energie	14,7	0,003
Centrumeland Sc. 2 groene energie	11,8	0,004
Holysloot Sc. 3 groene energie	32,5	0,002
Holysloot Sc. 4 groene energie	24,1	0,004
Centrumeland Sc. 1 markt-conforme energie	85,1	0,044
Centrumeland Sc. 2 markt-conforme energie	45,8	0,044
Holysloot Sc. 3 markt-conforme energie	274,2	0,079
Holysloot Sc. 4 markt-conforme energie	177,4	0,068
Leiduin HCl (sc. 1) groene energie	38,8	0,137
Leiduin CO ₂ (sc. 2) groene energie	36,4	0,130
Leiduin HCl (sc. 1) markt-conforme energie	68,9	0,337
Leiduin CO ₂ (sc. 2) markt-conforme energie	66,6	0,333

Uit deze tabel blijkt ook duidelijk dat de impact van de kleinschalige zuivering in Holysloot bij gebruik van marktconforme stroom verreweg de grootste impact zou hebben. Bij gebruik van groene stroom komen alle getallen veel dichterbij elkaar te liggen. In vergelijking met

centrale drinkwaterzuivering zou de kleinschalige zuivering in Holysloot bij gebruik van groene stroom zelfs een vergelijkbare impact laten zien. De kleinste impact wordt nu duidelijk verkregen bij Centrumeiland. Het verschil tussen RO-systemen en UV/H₂O₂ systemen is nu erg klein en nauwelijks significant, terwijl dat bij marktconforme stroom een veel groter verschil geeft.

Indien gekeken wordt naar alleen de CO₂-voetafdruk lijkt het zuiveren van regenwater tot drinkwater wel significant beter te zijn voor het milieu. Het gebruik van bio-energie levert een factor tien kleinere impact op dan het gebruik van fossiele energie

Indien groene stroom wordt gebruikt is het vanuit duurzaamheidsoogpunt interessant om regenwater te zuiveren tot drinkwater, omdat de waterkwaliteit van het bronmateriaal beter is dan die van oppervlaktewater, waardoor een minder uitgebreide zuivering zal volstaan.

5 Total costs of ownership (TCO)

5.1 Algemene aannamen

Voor het maken van een kosteninschatting voor de zes verschillende scenario's (zie hoofdstuk 3) is het handboek kosten kleinschalige waterbehandeling van DHV gebruikt (Water 2000). Hierbij zijn de volgende scenario-onafhankelijke uitgangspunten gebruikt:

- Bovenop de materiaalkosten van de PLC-besturing voor de installatie komt 45% extra kosten voor algemene voorzieningen, montage en staartkosten.
- Een afschrijvingstermijn van 20 jaar met een rentepercentage van 1,5%
- De kosten voor onderhoud bedragen 2,5% van de jaarlijkse kosten van de installatie
- Gemiddeld wordt 20% van de aanwezige membranen vervangen per jaar
- Spiraalgewonden RO membranen kosten € 20 per m²
- Een monteur voor service & onderhoud incl. gereedschap kost € 60 per uur
- UV-dosis voor desinfectie van 40 mJ/cm² en voor geavanceerde oxidatie 600 mJ/cm²
- Factor 10 hoger energieverbruik per m³ behandeld water voor geavanceerde oxidatie in vergelijking met UV desinfectie
- Peroxide dosering voor geavanceerde oxidatie van 10 mg/L

5.2 Centrumeiland casus specifieke aannamen

De volgende aannamen zijn in beide Centrumeiland scenario's gebruikt:

- Kosten voor de PLC van een dergelijke installatie van € 55.000
- Personeelskosten zijn gebaseerd op vier maanden werk voor het bouwen van de installatie en tien dagen per jaar voor service en onderhoud
- De energieprijz bedraagt € 0,10 per kWh voor een drinkwaterbedrijf
- Benodigd oppervlak voor plaatsen zuiveringsinstallatie van 50 m²
- De kosten per m² beton van een 20 m³ commercieel verkrijgbare betonnen tank zijn extrapol eerbaar naar een open betonnen vijver met 14.000 m³ inhoud
- Gebaseerd op DOW Rosa software is het geschatte energieverbruik van de RO installatie 0,73 kWh per m³. Dit relatief hoge energieverbruik is te verklaren door de continue recirculatie die plaatsvindt om 90% recovery te behalen.
- Gebaseerd op persoonlijke communicatie met van Remmen UV Techniek zijn de kosten voor een desinfectie en geavanceerde oxidatie reactor respectievelijk €3.900 en € 15.300
- Gebaseerd op persoonlijke communicatie met Logisticon Water Treatment zijn de kosten voor een RO unit zonder voorfiltratie, snel zand filter, actief koolfilter, zelfreinigend zeefilter en 10 m³ per uur opvoerpomp respectievelijk € 40.000, € 12.500, € 15.000, € 9.750 en € 1.500

5.3 Holysloot casus specifieke aannamen

De volgende aannamen zijn in alle vier de Holysloot scenario's gebruikt:

- Kosten voor de PLC van een dergelijke installatie van € 10.000
- Personeelskosten zijn gebaseerd op vier weken werk voor het bouwen van de installatie en twee dagen per jaar voor service en onderhoud
- Benodigd oppervlak voor plaatsen zuiveringsinstallatie van 10 m² voor scenario's 3 en 4 (gesloten opvangtank) en 4 m² voor scenario's 5 en 6 (open opvangvijver)
- Gebaseerd op DOW Rosa software is het geschatte energieverbruik van de RO installatie 2,83 kWh per m³. Dit zeer hoge energieverbruik wordt veroorzaakt door het ontbreken van een concentraat-recirculatie pomp. De verhoging in CAPEX die het toepassen van een dergelijke pomp met zich meebrengt weegt niet op tegen de reductie in OPEX door lager energieverbruik.
- Gebaseerd op persoonlijke communicatie met van Remmen UV Techniek zijn de kosten voor een desinfectie en geavanceerde oxidatie reactor respectievelijk € 1.900 en € 4.300
- Gebaseerd op persoonlijke communicatie met Logisticon Water Treatment zijn de kosten voor een RO unit zonder voorfiltratie, snel zand filter, actief koolfilter, zelfreinigend zeefilter, 1 m³ per uur opvoerpomp, 12 m³ HDPE tank en een 10 m³ HDPE tank respectievelijk € 17.500, € 1.250, € 1.400, € 3.500, € 500, € 4.800 en € 8.645
- De kosten voor pH-correctie na het UV/H₂O₂ proces zijn berekend met dezelfde kostenfuncties als die voor zandfilters zijn gebruikt.
- Een energietarief van €0,20 per kWh

5.4 Opbouw kuubsprijs per scenario

Uitgaande van de aannames besproken in 5.1 - 5.3, de scenario's één en twee (zie 3.1) en de scenario's drie en vier (zie 3.2) en de kostenfuncties uit het handboek kosten kleinschalige waterbehandeling van DHV (Water 2000) zijn de kostenberekeningen gemaakt die in detail weergegeven zijn in Bijlage III (Tabel 9 t/m

Tabel 12). Een samenvatting van de berekende kosten is gegeven in Tabel 3. In deze tabel is te zien dat de kosten voor de lokale waterzuivering gebaseerd op AOP hoger zijn dan de waterzuivering gebaseerd op RO in Centrumeland (wijkniveau), in tegenstelling tot Holysloot (enkel huis niveau), waar de kosten vergelijkbaar zijn. Overigens bedraagt de nauwkeurigheid van deze berekeningen ongeveer 30%.

TABEL 3: OVERZICHT BEREKENDE PRODUCTIEKOSTEN PER SCENARIO

Scenario & omschrijving	Productie [m ³ /jaar]	Kosten		
		[k€/20 jaar]	[k€/jaar]	[€/m ³]
Scenario 1: Centrumeland RO	64.100	3474	173711	2,71
Scenario 2: Centrumeland AOP	64.100	4397	220	3,43
Scenario 3: Holysloot RO (gesloten tank)	100	170	8,52	85,24
Scenario 4: Holysloot AOP (gesloten tank)	100	170	8,48	84,76
Scenario 5: Holysloot RO (open vijver)	100	77	3,83	38,27
Scenario 6: Holysloot AOP (open vijver)	100	76	3,80	38,02

Aangezien, zoals eerder vermeld, de benodigde analyses gemiddeld voor elk scenario €2500,- kosten, moeten deze kosten nog bij de productiekosten worden opgeteld. Een eventuele besparing in de vorm van een tegeltax (die op dit moment nog niet wordt geheven) zou de netto kosten weer doen afnemen. Deze effecten zijn uitgerekend in Tabel 4. Hierin zijn de kosten voor de behandeling van afvalstromen (met name het concentraat dat vrijkomt bij de RO-processen) nog niet meegenomen.

TABEL 4: OVERZICHT VAN TOTALE KOSTEN EN BESPARINGEN PER SCENARIO. IN DEZE KOSTEN ZIJN DE KOSTEN VOOR DE BEHANDELING VAN AFVALSTROMEN NIET MEEGENOMEN.

	Productiekosten [€/m ³]	Analysekosten [€/m ³]	Tegeltax [€/m ³]	Netto kosten [€/m ³]
Scenario 1: Centrumeland RO	2,71	0,04	1,60	1,15
Scenario 2: Centrumeland AOP	3,43	0,04	1,60	1,87
Scenario 3: Holysloot RO	85,24	25,93	4,48	106,69
Scenario 4: Holysloot AOP	84,76	25,93	4,48	106,21
Scenario 5: Holysloot RO	38,27	25,93	2,69	61,51
Scenario 6: Holysloot AOP	38,02	25,93	2,69	61,26

6 Discussie

6.1 Effect schaalgrootte

In het algemeen kan worden gesteld dat een kleinschalig proces duurder is en een grotere milieu-impact heeft dan een proces op grotere schaal. Dat is ook in dit onderzoek naar voren gekomen, zoals blijkt uit Tabel 5. De kleine zuivering voor een individuele woning is in alle gevallen veel duurder dan centrale zuivering. De kosten bij een zuivering op wijk-schaal zijn ook hoger dan die van centraal gezuiverd drinkwater, maar indien rekening wordt gehouden met “opbrengsten” aan de kant van de behandeling van en overlast door regenval komen ze in dezelfde grootteorde.

TABEL 5: OVERZICHT ZUIVERINGSKOSTEN EN MILIEU-IMPACT BIJ DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S

# scenario	Beschrijving scenario	euro per kuub geproduceerd drinkwater	Milieu-impact (mPt/m ³)
Scenario 1: Centrumeiland RO	Betonnen opvangvijver. Continue zuivering	2,71	14,7
Scenario 2: Centrumeiland AOP	Betonnen opvangvijver. Continue zuivering	3,43	11,8
Scenario 3: Holysloot RO	Kleine vuilwaterbuffer, grote schoonwaterbuffer. Batch zuivering	85,24	32,5
Scenario 4: Holysloot AOP	Kleine vuilwaterbuffer, grote schoonwaterbuffer. Batch zuivering	84,76	24,1
Scenario 5: Holysloot RO	Betonnen opvangvijver, kleine schoonwaterbuffer. Continue zuivering	38,27	32,5
Scenario 6: Holysloot AOP	Betonnen opvangvijver, kleine schoonwaterbuffer. Continue zuivering	38,02	24,1
Centraal gezuiverd drinkwater	Centrale drinkwaterzuivering van Waternet	1,95*)	38

*)Prijs die klanten van Waternet in 2018 ongeveer betalen, incl. BTW en vastrecht.

6.2 Gecombineerde systemen

Op wijkniveau zijn de kosten van de zuivering relatief hoog door de geplande buffervaten. Deze zijn nodig om ook in geval van een langdurige periode van droogte toch over voldoende drinkwater te kunnen beschikken. In dit scenario zijn we ervan uitgegaan dat de volledige waterbehoefte gedekt zou moeten kunnen worden door regenwateropvang, en dan is het belangrijk om zowel over voldoende opslagcapaciteit te beschikken, als om piekbuien volledig te kunnen opvangen en verwerken. Uiteraard zou het mogelijk zijn naast dit systeem het reguliere drinkwaterleidingnet te handhaven, waardoor dergelijke buffervaten niet nodig zouden zijn, en de kosten veel lager zouden uitpakken. Een dergelijke situatie

zou echter veel nadelen hebben. De centrale drinkwaterzuivering is ontworpen op een bepaald debiet. Wanneer, door toepassing van regenwater als bron voor drinkwater, minder drinkwater uit het centrale proces zal worden afgenomen, zal de prijs van dit water dus moeten stijgen, want de aanwezige investering zal niet op korte termijn kunnen worden afgeschreven of aangepast aan de nieuwe situatie. Bovendien is het drinkwaterbedrijf verplicht om altijd voldoende drinkwater te kunnen leveren, wat in de praktijk betekent dat tijdens droge periodes toch weer een hoge capaciteit nodig is. Dit heeft tot gevolg dat noch de productiecapaciteit noch het leidingnet kunnen worden verkleind. In periodes waarin wel voldoende drinkwater uit regenwater gemaakt kan worden zal de verblijftijd van het drinkwater in het reguliere leidingnet toenemen, wat de kwaliteit niet ten goede komt. Bij "normaal" gebruik is het debiet in de leidingen zo hoog dat er sprake is van een "zelfreinigend vermogen": de lichte sedimentatie, die zich op de bodem van de leiding verzameld heeft, wordt dagelijks weer opgewerveld, waardoor de leiding zichzelf in feite schoon houdt. Bij een te laag debiet zal er zich dus wel sedimentatie in de leiding kunnen ophopen. Uit het huidige onderzoek blijkt dat over het algemeen decentrale drinkwaterzuivering duurder is dan centrale zuivering. Bij aanleg van een dubbel systeem nemen de kosten voor de inwoners dus significant toe, want zowel het centrale systeem als het duurdere decentrale systeem zullen betaald moeten worden. Kortom: een dubbele voorziening (een centrale drinkwaterleiding naast een regenwatersysteem) heeft teveel technische en financiële nadelen om in de praktijk toe te passen.

6.3 Praktische aspecten

Het grootste probleem van zuivering op wijkniveau is dat in een drukbevolkte stadswijk als Centrumeiland het oppervlak te klein is c.q. er onvoldoende neerslag valt om alle inwoners van water te voorzien. In het geval van Centrumeiland zou maximaal voor ongeveer de helft van het aantal geplande inwoners voldoende water opgevangen kunnen worden. Zoals aangegeven in paragraaf 6.2 heeft toepassing van gecombineerde systemen (centrale plus decentrale zuivering) een aantal nadelen. Indien het aantal inwoners niet drastisch verkleind kan worden, lijkt het dan ook niet echt zinvol om opgevangen regenwater te zuiveren tot drinkwaterkwaliteit. Dit neemt echter niet weg dat opgevangen regenwater wel voor laagwaardige toepassingen gebruikt zou kunnen worden, zoals het spoelen van het toilet of het sproeien van de tuin.

Wat de praktische uitvoering betreft blijkt het ruimtebeslag van de benodigde opvangvijver veel te groot te zijn voor de afmetingen van Centrumeiland. Het zou ten koste gaan van ongeveer de helft van alle geplande speel- en trapveldjes. Ondergrondse opslag zou eventueel een oplossing zijn voor dit probleem, maar of dat in dit geval praktisch te realiseren is is nog niet onderzocht. Bovendien kan slechts voor ongeveer de helft van het geplande aantal inwoners van de wijk voldoende neerslag worden opgevangen. Waterbesparende maatregelen zouden kunnen helpen om meer inwoners van drinkwater te kunnen voorzien, maar dit is niet genoeg om alle geplande inwoners voldoende drinkwater te kunnen leveren. Ook deze aspecten betekenen dat het niet realistisch is om in een dichtbebouwde stadswijk het drinkwater te maken uit opgevangen regenwater.

6.4 Totale kosten voor decentrale zuivering

Voor de kleinschalige zuivering in Holysloot is erg duur. De reden hiervoor is dat het niet goed is ongezuiverd water gedurende langere tijd op te slaan, omdat dat zal bederven. Het water dat tijdens piekbuien valt niet opvangen is geen optie, omdat er dan veel te weinig water kan worden opgevangen om voldoende drinkwater te kunnen maken. In de scenario's 3 en 4 zijn we uitgegaan van een dakoppervlak van 234,7 m², ten opzichte van een gemiddeld dakoppervlak in Nederland van slechts 60 m², om voldoende water te kunnen opvangen (hierbij is wel rekening gehouden met een first flush van 2 mm). Het water dat

tijdens een piekbui valt moet in een eerste opvangtank kunnen worden opgevangen. Aangezien de meeste piekbuien in een bepaalde periode vallen, moet de capaciteit van de zuivering zodanig zijn dat dit water in een korte periode (we zijn uitgegaan van 12 uur) moet kunnen worden gezuiverd en opgeslagen in een schoonwatertank. Dit betekent echter dat een relatief grote zuiveringscapaciteit nodig is, die een groot deel van het jaar niet in gebruik zal zijn. Dat verklaart de extreem hoge kosten per m³ geproduceerd drinkwater. Om voldoende gezuiverd water te kunnen opslaan, en om ook de mogelijkheid te hebben onderhoud te plegen, hebben we in het systeem twee opvangtanks voor gezuiverd water meegenomen.

Aangezien de kosten van een systeem met een gesloten opvangtank en een overgedimensioneerde zuivering erg hoog uitvielen, zijn ook twee scenario's doorgerekend waarbij, net als in Centrumeiland, werd uitgegaan van een open opvangvijver (scenario's 5 en 6). Dit betekent dat de first flush niet meer hoeft te worden afgevoerd, waardoor het benodigde dakoppervlak, om voldoende regenwater te kunnen opvangen, kleiner wordt. Bovendien hoeft het water nu niet meer in korte tijd gezuiverd te kunnen worden, waardoor een kleine, continue zuivering mogelijk wordt. Hierbij is uitgegaan van commercieel verkrijgbare zuiveringsapparaten voor zeer klein debiet ("huis-, tuin- en keukenapparatuur"). Er is uitgegaan van een betonnen opvangvijver, en een tank van 2 m³ voor de opslag van schoon water. De kosten van een dergelijke kleine maar continue zuivering zijn inderdaad lager dan de kosten die in de scenario's 3 en 4 werden berekend, maar de robuustheid van de zuivering moet wel goed in de gaten worden gehouden, omdat de kwaliteit van het opgevangen water minder goed zal zijn dan die van het opgevangen water in scenario's 3 en 4 (hier wordt de first flush afgevoerd, en zullen er veel minder verontreinigingen uit de omgeving in het water terechtkomen dan bij een open opvangvijver).

Tegenover de totale kosten voor de zuivering van opgevangen neerslag staan ook de "uitgespaarde" kosten, die anders zouden voortkomen uit de behandeling van regenwater en de overlast tijdens piekbuien. Zoals eerder in dit rapport uitgelegd (in paragraaf 3.1), hebben we die kosten geschat aan de hand van de Berlijnse tegeltax. Hiervoor hebben we de prijs berekend op basis van het benodigde oppervlak, en vervolgens gedeeld door het aantal geproduceerde m³ drinkwater. Deze kosten en de prijs van decentrale zuivering zijn weergegeven in Tabel 6. Ter vergelijking is ook de gemiddelde milieu-impact weergegeven.

TABEL 6: KOSTEN EN BESPARINGEN ("TEGELTAX") VAN CENTRALE VERSUS DECENTRALE ZUIVERING

Zuivering	Totale Kosten (€/m ³) (excl. Kosten voor behandeling afvalstromen)	Mogelijke besparing bij opvang en behandeling regenwater (€/m ³)	Milieu-impact (mPt/m ³)
Op wijkniveau (scenario's 1 en 2)	2,70 – 3,50	1,6	13
Individuele woning, Opvang in gesloten tank (scenario's 3 en 4)	111	4,5	29
Individuele woning, Opvang in open vijver (scenario's 5 en 6)	64	2,7	29
Centrale zuivering	1.95*)	0	38

Uit deze gegevens blijkt dat zuivering op wijkschaal wat kosten betreft in dezelfde grootteorde uitkomt als centrale zuivering, indien ook de tegeltax zou worden verrekend. De kleinschalige zuivering voor een individuele woning is relatief veel duurder, waardoor het effect van de tegeltax hier nagenoeg verwaarloosbaar is. Voor een deel wordt dat veroorzaakt door de prijs van de benodigde analyses. Indien gebruik zou kunnen worden gemaakt van geschikte sensoren zou deze prijs aanzienlijk kunnen dalen, maar dan nog zouden de kosten veel hoger zijn dan die van centrale zuivering, en zouden de baten (uitgedrukt als "tegeltax") hooguit 10% van de zuiveringskosten dekken.

Op basis van de berekende kosten per m³ geproduceerd drinkwater, het vervallen van de jaarlijkse waterrekening en rekening houdend met "tegeltax" is berekend vanaf welke afstand tot het centrale drinkwaterleidingnet het bouwen en bedrijven van een afzonderlijke drinkwaterzuivering opweegt tegen de kosten die het aanleggen van een nieuwe drinkwaterleiding met zich mee brengt. Een overzicht is gegeven in .

TABEL 7: BEREKENING AFSTAND TOT LEIDINGNET VANAF WAAR DECENTRALE ZUIVERING OPWEEGT TEGEN AANLEG LEIDING. BEREKENINGEN GEMAAKT VOOR EEN PERIODE VAN 20 JAAR

scenario	Benodigd dakoppervlak [m ²]	Besparing tegeltax 20 jaar [euro]	Jaarproductie [m ³]	Aantal km afstand tot distributienet wanneer lokale zuivering financieel uit kan [km]	
				Zonder tegeltax	Met tegeltax
3	235	8636	100	15,63	14,82
4	235	8636	100	15,54	14,73
5	141	5182	100	6,82	6,34
6	141	5182	100	6,78	6,29

Voor Scenario 3 en Scenario 4 is deze afstand respectievelijk 14,25 en 14,45 kilometer. De kortste afstand tussen Holysloot en het drinkwaternet is niet exact bekend maar is zeker korter dan 14 kilometer. Voor een huis in dichtbevolkt gebied als Holysloot zou decentrale zuivering niet kosteneffectief uit kunnen op basis van deze berekening. Uitgaande van de beide scenario's gebaseerd op een open opvangvijver zijn de kosten veel lager, en daarmee wordt ook de afstand tot het centrale leidingnet kleiner: circa 6 km. Het blijkt dat de besparing (tegeltax) in deze gevallen niet of nauwelijks effect heeft op de kosten en de daaruit berekende afstand tot het distributienet.

De berekende kosten voor kleinschalige zuivering, zowel op wijkniveau als voor een individuele woning, zijn hoog in vergelijking met de kosten die Waternet voor centraal gezuiverd en geleverd drinkwater in rekening brengt (<https://www.waternet.nl/service-en-contact/drinkwater/kosten/met-watermeter/>):

- € 0,79 per m³ water (1 m³ = 1.000 liter)
- € 71,33 vaste kosten per jaar voor het beheer en onderhoud aan de waterleidingen (tot 1.000 m³ per jaar)
- Belasting op leidingwater (bol): € 0,339 per m³. Maar alleen over de eerste 300 m³.
- 6% btw

Bij een gemiddeld gebruik van ongeveer 100 m³ per jaar kost dit € 16,27 per maand of € 48,82 per kwartaal, ofwel ongeveer € 1,95 per m³ drinkwater

(<https://www.waternet.nl/service-en-contact/drinkwater/kosten/met-watermeter/en> <https://www.waternet.nl/service-en-contact/drinkwater/kosten/met-watermeter/maandbedrag-100m3/>). De drinkwaterprijs bij Waternet bij een gebruik van 125 m³ per jaar komt overeen met ongeveer €1,80/m³. Hierin zijn echter ook de vaste kosten en belastingen verrekend. De berekende kosten voor decentrale zuivering zijn alleen maar productiekosten, dus de werkelijke prijs die klanten moeten betalen zal nog hoger liggen dan de genoemde €2,70 per m³ drinkwater.

6.5 Milieu-effecten

In principe is regenwater een schonere bron voor drinkwater dan bijvoorbeeld oppervlaktewater, wat tot uitdrukking komt in de milieu-impact voor de zuivering in Centrumeiland, die een factor twee tot drie kleiner is dan de milieu-impact van de centrale zuivering, gebaseerd op oppervlaktewater (zie Tabel 5). Bij de individuele woning is de kwaliteit van de bron natuurlijk ook beter dan die van oppervlaktewater, maar hier is de impact van de zuivering zelf groter. Indien gebruik wordt gemaakt van groene stroom (windenergie) is de milieuwinst van een kleinschalige zuivering ongeveer 15-30%. De betere bronkwaliteit van regenwater in vergelijking met oppervlaktewater levert dus wel voordelen op voor het milieu. Toch is het goed deze getallen in perspectief te zien. Een West-Europeaan heeft een voetafdruk van 1000 ecopunten per jaar (Baayen 2000), wat betekent dat een milieuwinst van maximaal 27 mPt/m³ bij een gebruik van 50 m³/jaar neerkomt op een totale winst van 1350 mPt, ofwel 1,35% van de totale voetafdruk.

Op basis van de hier berekende besparing in CO₂ (zie Tabel 2) en de meerkosten van de zuivering kan worden uitgerekend wat de kosten per ton uitgespaarde CO₂ zijn. Uitgaande van een gemiddelde een kostprijs van €3,10 in Centrumeiland betekent dit dat 1 m³ drinkwater ongeveer €1,50 duurder is dan centraal geleverd drinkwater (ook hier zal nog een bedrag bij de productiekosten moeten worden opgeteld voor administratieve kosten e.d.). De besparing is dan 0,127 kg CO₂/m³ drinkwater, waardoor deze besparing €12,-/kg CO₂ ofwel €12.000,-/ton CO₂ kost. Hierbij moet wel worden aangetekend dat het uitdrukken van de milieu-impact op basis van uitgestoten CO₂ het totale effect op het milieu vertekent, omdat bepaalde invloeden dan niet worden meegenomen.

Voor Holysloot zijn de meerkosten in het gunstigste geval €62,-/m³, en levert dit een besparing op van eveneens 0,127 kg CO₂/m³, waardoor hier de kosten €488,-/kg CO₂ bedragen. Uitgaande van een gesloten opvangtank lopen die kosten zelfs op tot €858,-/kg CO₂.

Wereldwijd probeert men de CO₂-uitstoot te verlagen en kunnen CO₂-emissierechten worden verhandeld (https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en). Volgens een fact sheet uit 2012 (<http://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-carbon-pricing-around-the-world?fact-sheet-carbon-pricing-around-the-world-17-oct-2012>) bedroegen de prijzen in 2008 circa €30,-/ton, maar waren die in 2012 gedaald tot onder de €10,-/ton. De meeste rechten werden toen geveild voor prijzen tussen €2,- en €3,5/ton CO₂. Op het ogenblik lijkt de prijs te schommelen rond de €13,-/ton CO₂ (<http://markets.businessinsider.com/commodities/co2-emissionsrechte>). Dit betekent dat een ton CO₂ in Centrumeiland ongeveer duizend keer zo hoog als de marktprijs voor emissierechten. In Holysloot is dit zelfs ruim dertigduizend keer zo hoog.

Uit deze beschouwing blijkt dat er wel een (kleine) milieuwinst te behalen valt door lokaal drinkwater te produceren uit regenwater. Maar de kosten die hiermee gemoeid zijn heel erg hoog. Voor hetzelfde bedrag is op een ander terrein veel meer milieuwinst te boeken, dan op deze manier.

6.6 Extra overwegingen

Er zijn in de doorgerekende scenario's nog enkele aspecten die niet zijn meegenomen, maar in een echte uitvoering wel aandacht verdienen. Zo is het beter een dubbele desinfectie barrière te hebben, en die is in de scenario's met UV/H₂O₂ niet meegenomen. Hoewel de UV-doses in een UV/H₂O₂ systeem veel hoger zijn dan in een desinfectie-reactor, zou het toch goed zijn een kleine UV-reactor, met lage dosis, na de kool te plaatsen, omdat in een koolfilter altijd micro-organismen voorkomen, die de biologische stabiliteit van het geproduceerde drinkwater zouden kunnen beïnvloeden. In Holysloot zijn de kosten (bouwkosten, rente, afschrijving, vervanging van lampen enz.) voor een UV-desinfectie-installatie €1900,-, waardoor de kosten toenemen met €2,22/m³. In het geval van Centrumeiland zouden de kosten neerkomen op €3900,- en de kosten voor het drinkwater met €0,01/m³ toenemen.

Een ander aspect is de marmerfiltratie. Aangezien duurzaamheid een belangrijke overweging is om regenwater als bron voor drinkwater te gebruiken, lijkt het logisch hiervoor geen marmer te gebruiken maar het calciet dat gevormd wordt in bijvoorbeeld de centrale drinkwaterproductie van Leiduin. Dit calciet heeft ook een kern die uit calciet bestaat, en zou dus geschikt kunnen zijn hiervoor. Voor de zekerheid zou dit materiaal dan wel gedesinfecteerd moeten worden, zoals aangegeven in paragraaf 3.1.

In het AOP scenario voor Holysloot branden de UV-lampen slechts 150 uur per jaar. Volgens het handboek van DHV bedragen de vervangingskosten van een UV-lamp €48,-/jaar, maar dat is op basis van de aanname dat de lamp vrijwel continu aan staat. De levensduur van een lage druk UV-lamp is ongeveer 12.000 uur, wat zou betekenen dat in dit geval de lamp theoretisch ongeveer 80 jaar mee zou gaan. Daarom zijn de vervangingskosten van de UV-lamp in deze berekening op 0 gesteld.

Een punt dat al enkele keren is aangehaald is het belang van analyses. Het blijft in alle gevallen van groot belang regelmatig de werking van de zuivering te controleren door analyses van de waterkwaliteit uit te voeren. Bij kleinschalige zuivering zijn net zoveel analyses nodig als bij centrale drinkwaterzuivering, waardoor de analysekosten veel zwaarder wegen in het geval van kleinschalige zuiveringen. Dat is in deze berekeningen niet meegenomen, maar dat zou voor een echte implementatie wel gedaan moeten worden. Aangezien er dan meer analyses nodig zijn, kan de prijs per analyse mogelijk wel iets lager zijn dan nu het geval is.

6.7 Mogelijkheden voor ondergrondse berging

De grote vijver die nodig is om voldoende regenwater te kunnen opvangen is een significant nadeel voor met name de stadswijk. Hier is de grondprijs namelijk erg hoog, waardoor er weinig ruimte beschikbaar is. Wellicht kan dit probleem worden opgelost door gebruik te maken van ondergrondse berging. Om te zien of dit praktisch (en financieel) haalbaar is in dit gebied is echter meer onderzoek nodig. Een korte inschatting is gegeven in Bijlage IV.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Uit dit onderzoek blijkt dat, bij gebruik van groene energie, zuivering op wijkschaal een kleinere milieu impact laat zien dan centrale zuivering. De impact van een zuivering per individuele woning is dan vergelijkbaar met of iets kleiner dan die van de centrale zuivering. De totale milieuwinst is echter klein: op basis van het aantal ecopunten in de ordegrrootte van ongeveer 1 ‰ per inwoner per jaar. Bovendien zijn de kosten die hiermee gemoeid zijn gigantisch hoog, zeker in vergelijking tot bijvoorbeeld de kosten voor emissierechten voor CO₂: de CO₂-besparing kost in dit geval ongeveer 1000 tot 30.000 keer zoveel per ton.

De kosten van decentrale zuivering zijn dan ook (veel) hoger dan die van centrale zuivering. Dit heeft te maken met de benodigde opvangcapaciteit voor piekbuien, en, in het geval van een individuele woning, met de grote capaciteit van de zuivering die slechts incidenteel in gebruik zal zijn. Hierdoor bedragen de productiekosten op wijkniveau ongeveer €2,70 - €3,50 /m³ en voor de individuele woning zelfs ongeveer €64,- of €111,00 / m³ (respectievelijk bij een systeem met een open vijver en een gesloten opvangtank). Dit laatste betekent dat pas bij een afstand van minstens 6 of 15 km tot het centrale drinkwaterleidingnet individuele zuivering qua kosten opweegt tegen het aanleggen van een aparte drinkwaterleiding. Deze kostenberekeningen zijn exclusief de kosten voor de benodigde analyses om de waterkwaliteit te kunnen waarborgen. Wel is hierin meegenomen de “winst” die ontstaat door het voorkomen van overlast tijdens piekbuien.

Een probleem bij de productie van drinkwater uit neerslag is dat er voldoende regenwater moet kunnen worden opgevangen. In het geval van een individuele woning betekent dit dat een dakoppervlak van ongeveer 140 (open opvangvijver of 235 m² (gesloten opvangtank) nodig is, wat circa twee en vier keer zo groot is als een gemiddeld dakoppervlak van een Nederlandse woning. In het geval van een dichtbevolkte stadswijk betekent het dat er onvoldoende regenwater kan worden opgevangen om alle inwoners van drinkwater te voorzien. Ook toepassing van waterbesparende technieken zal dit probleem niet oplossen; alleen bij een veel lagere bevolkingsdichtheid, in het hier doorgerekende voorbeeld ongeveer 50% van de geplande bevolkingsdichtheid, kan voldoende water worden opgevangen. In een stad die streeft naar veel inwoners per m² is dit echter een moeilijk haalbare kaart. Bijkomend nadeel is het grote oppervlak dat vooral opslag van de neerslag in beslag zal nemen.

7.2 Aanbevelingen

Zuivering van regenwater tot drinkwater is mogelijk op wijkniveau, indien de bevolkingsdichtheid niet al te hoog is. Het nadeel van het grote ruimtebeslag van de vijver, die nodig is voor de opvang van piekbuien, zou mogelijk deels kunnen worden ondervangen door ondergrondse opslag toe te passen. Infiltratie door de ondergrond zou meteen een extra zuiveringsstap betekenen. Het moet wel per locatie worden bekeken of een dergelijk systeem te realiseren is. Bovendien zou een tijdreeksanalyse moeten worden uitgevoerd om te bekijken of de geschatte volumes voor opslag inderdaad kloppen.

Een groot nadeel van decentrale zuivering vormen de kosten voor analyses, die nodig zijn om de waterkwaliteit te kunnen waarborgen. De ontwikkeling van geschikte sensoren zou in dit opzicht als een “game changer” beschouwd kunnen worden.

Als het doel is om de milieu-impact van mensen te verkleinen, is de productie van drinkwater uit regenwater niet aan te raden: de milieuwinst is erg klein, en de kosten zijn relatief hoog. Voor hetzelfde geld is op een ander terrein waarschijnlijk veel meer milieuwinst te boeken.

8 Referenties

- Baayen, H. (2000). Eco-indicator 99; manual for designers; A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. The Hague, The Netherlands, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment.
- Hofman-Caris, C. H. M. and C. Bertelkamp (2017). Decentraal zuiveren: mogelijkheden voor gebruik van opgevangen regenwater. Nieuwegein, KWR Watercycle Research Institute.
- Hofman-Caris, C. H. M., D. J. H. Harmsen, A. M. Van Remmen, A. H. Knol, W. L. C. Van Pol and B. A. Wols (2017). Optimization of UV/H₂O₂ processes for the removal of organic micropollutants from drinking water: Effect of reactor geometry and water pretreatment on E_{EO} values. *Water Science and Technology: Water Supply*. 17: 508-518.
- Hofman-Caris, C. H. M., H. Huiting, L. Snip, T. v. d. Brand and L. Palmen (2016). Ontharding 2.0 bij Waternet; Productielocatie Leiduin. Nieuwegein, The Netherlands, KWR Watercycle Research Institute.
- Mesman, G. (2018). KWR Watercycle Research Institute.
- van Remmen, t. (2017). van Remmen UV Techniek.
- Water, D. (2000). Handboek kosten kleinschalige waterbehandeling. Amersfoort, DHV

Bijlage I

Inrichting van Centrumeiland

Het type bebouwing is als volgt verdeeld:

Vier blokken met in elk blok:

- 40-45 kavels voor eengezinswoningen van ongeveer 100 m² grondoppervlak per stuk (totaal 273 m²/woning).
- 15-17 kavels voor kleine appartementencomplexen met gemiddeld 3,5 woningen, á ca. 180 m² grondoppervlak.
- 10 kavels voor grote appartementencomplexen met gemiddeld 30 woningen, á ca. 600 m² grondoppervlak

Op basis van de tekeningen is berekend wat het dakoppervlak van deze woningen is.

Daarnaast is een school voorzien met 1000 m² grondoppervlak.



FIGUUR 12: VOORBEELD INDELING VOOR CENTRUMEILAND (INVESTERINGSBESLUIT CENTRUMEILAND STEDENBOUWKUNDIG PLAN MEI 2016).

Voorzieningen komen in de plinten, en nemen dus geen extra oppervlak in beslag. Wel is er een groot L-vormig plein gepland. De lange poot van deze L is 53*128 m. Hier komt nog een stuk van de kleine poot van de L bij, maar er is ook een vierkant groen met bomen op dit plein gepland van ca. 53*53 m², dus het oppervlak van het plein komt hiermee uit op ongeveer 7000 m².

Om te kunnen berekenen hoeveel regenwater er kan worden opgevangen als ook al het verharde oppervlak wordt meegenomen, is eerst uitgerekend wat het verharde en bebouwde oppervlak in Centru-meiland zal zijn.

Aannemende dat de speelvelden e.d. onder “groen” (dus niet verhard) vallen, is het geplande oppervlak onverhard in deze wijk:

- 10 speelvelden van 100 m²
- 6 velden van 500 m²
- 1 speelveld van 1200 m² (waarschijnlijk wordt hier het schoolplein mee bedoeld, dat grotendeels onverhard zal zijn)
- 1 trapveld van 1200 m².

In totaal komt dit neer op 6400 m² onverhard oppervlak.

Dit alles bij elkaar beslaat een oppervlak van ongeveer 62.000 m².

Dit betekent dat er in totaal $13 \cdot 10^4 - 62000 = 68 \cdot 10^3$ m² over is voor straten, parkeerplaatsen, pleintjes, en groen.

In de plannen worden vier typen wegen uitgewerkt, waarin plaats is voor voetgangers, fietsers, auto's, bomen, parkeerplaatsen, en tram- en busbanen. Hiervan worden in het overzicht de breedtes gegeven. Aannemende dat de lengte identiek is, betekent dit het volgende voor de verdeling tussen verhard en onverhard oppervlak (tabel 1):

TABEL 8: INRICHTING VIER TYPEN WEGEN

Type weg	Verhard (m)	Onverhard (m)	% verhard
1	15,0	8,1	65
2	20,4	47,9	30
3	25,0	9,6	72
4	38,75	19,20	67

Aannemende dat het type wegen in de wijk min of meer gelijk is verdeeld, betekent dit dat gemiddeld ongeveer 60% van dit oppervlak verhard is.

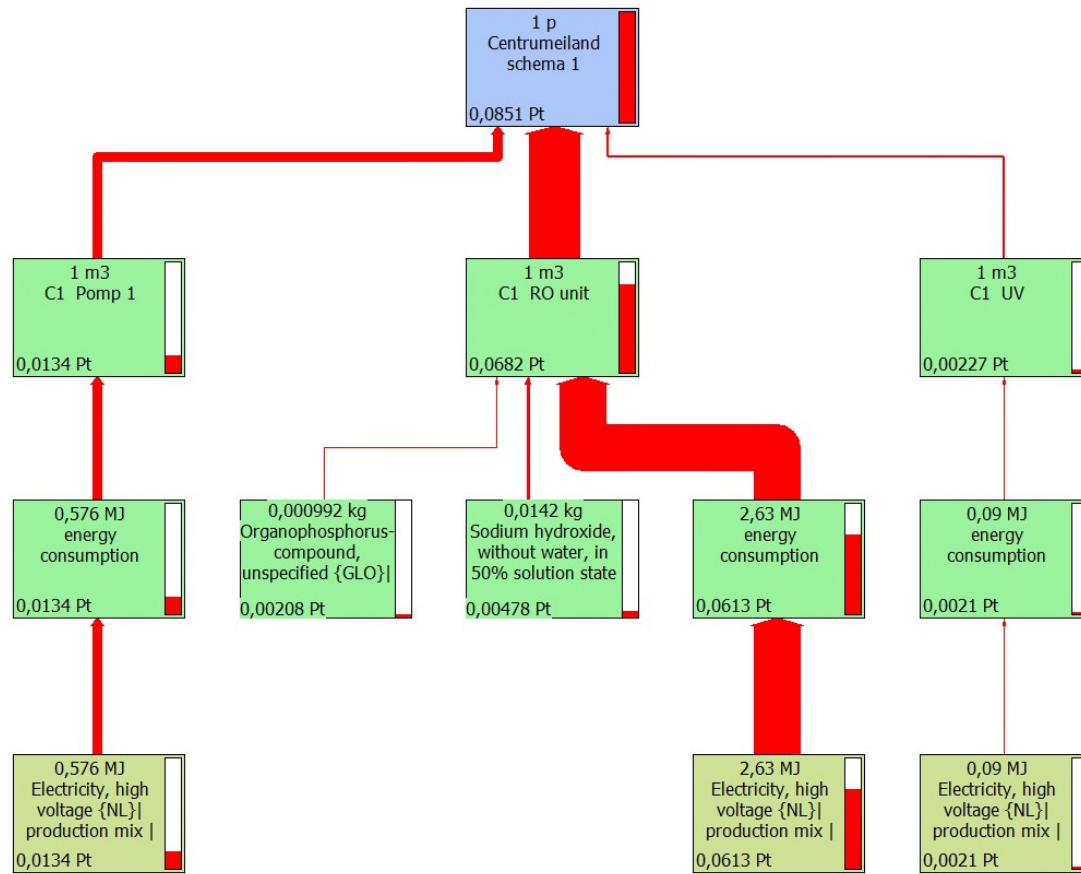
Hiermee komt het totale oppervlak (verhard en bebouwd) op:

$$45767 + 7000 + 0,60 \cdot 68 \cdot 10^3 \approx 93600 \text{ m}^2$$

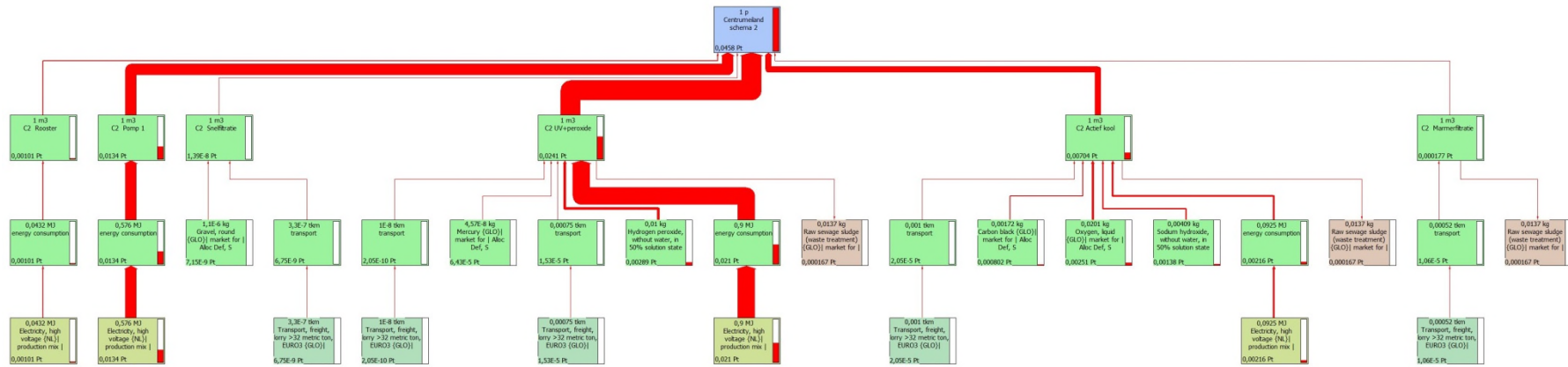
Bijlage II

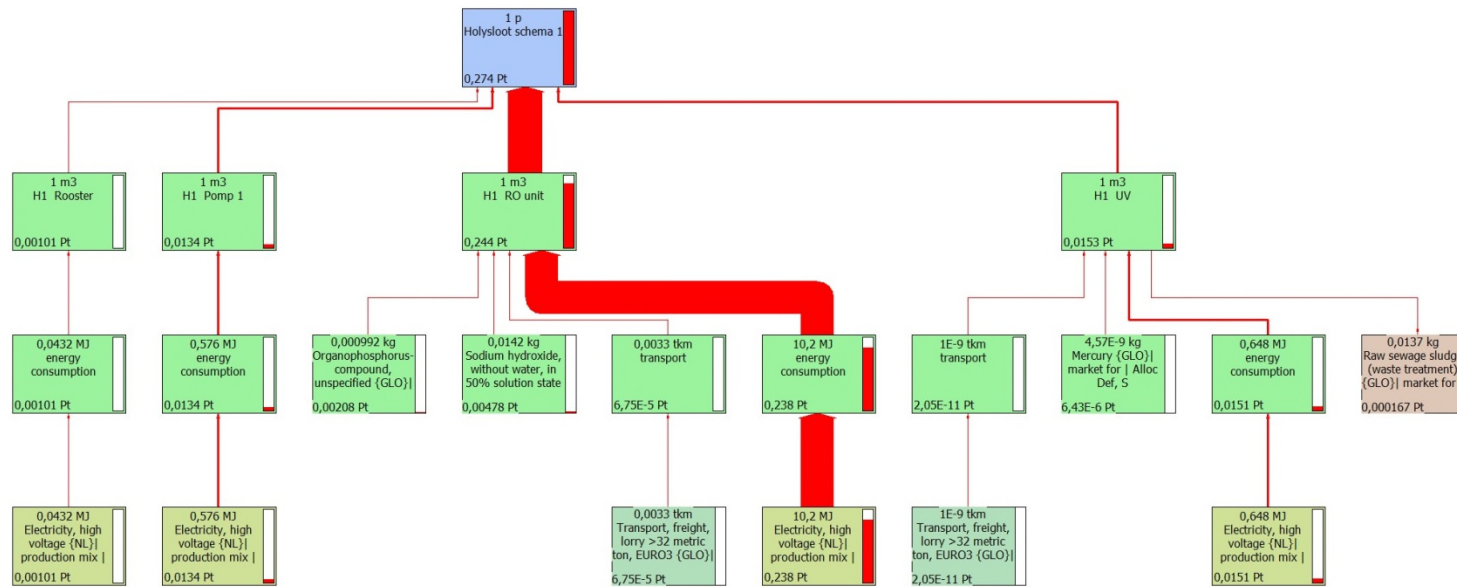
LCA-gegevens van zuiveringsprocessen op basis van marktconforme stroom.

In zijn de boomdiagrammen van de beide scenario's in Centrumeiland en Holysloot weergegeven, maar dit keer op basis van windenergie in plaats van een gemengde energievorm.

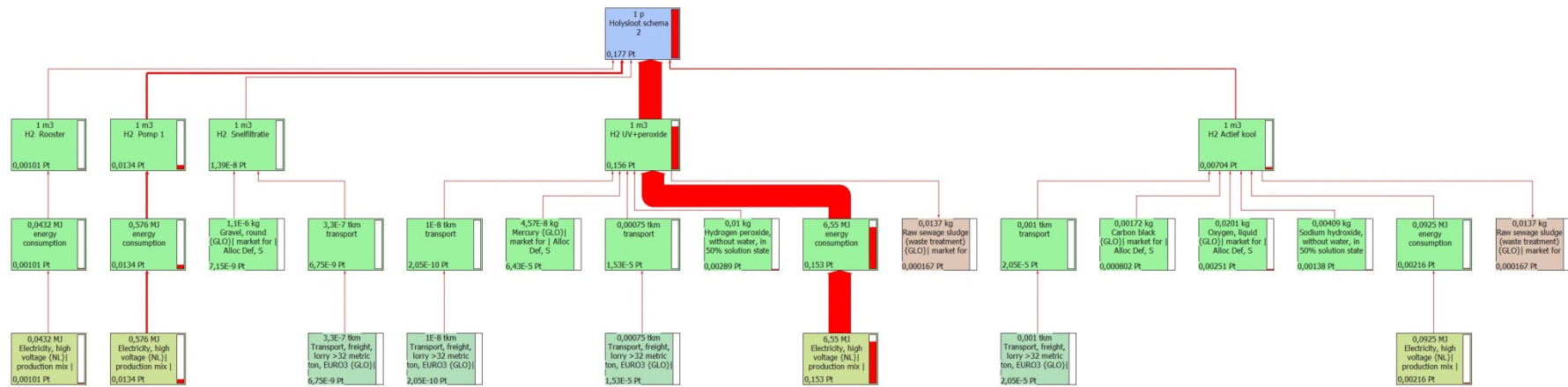


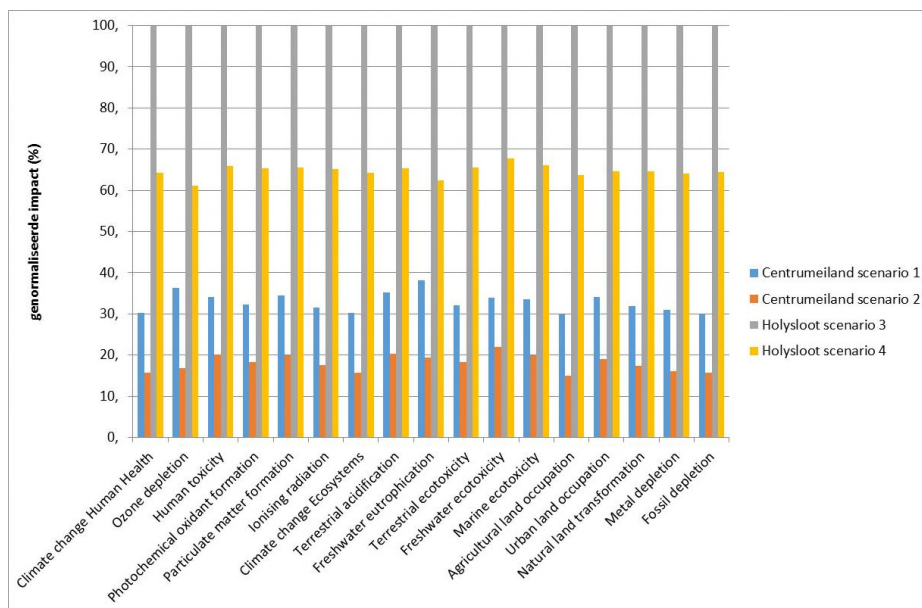
FIGUUR 13: BOOMDIAGRAM CENTRUMEILAND MET RO-PROCES (SCENARIO 1); MARKTCONFORME ENERGIE

FIGUUR 14: BOOMDIAGRAM CENTRUMEILAND MET UV/H₂O₂ PROCES (SCENARIO 2); MARKTCONFORME ENERGIE

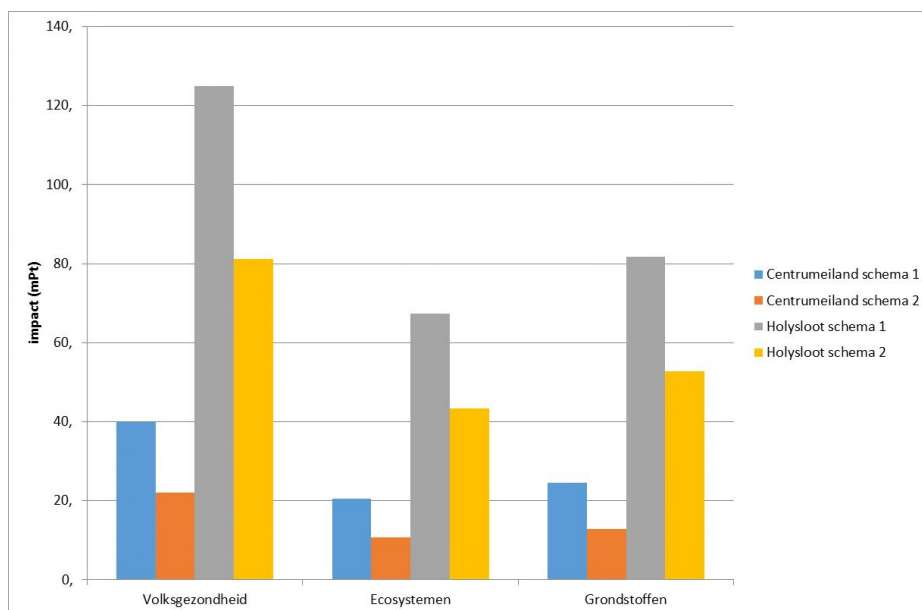


FIGUUR 15: BOOMDIAGRAM HOLYSLOOT MET RO-PROCES (SCENARIO 3); MARKTCONFORME ENERGIE

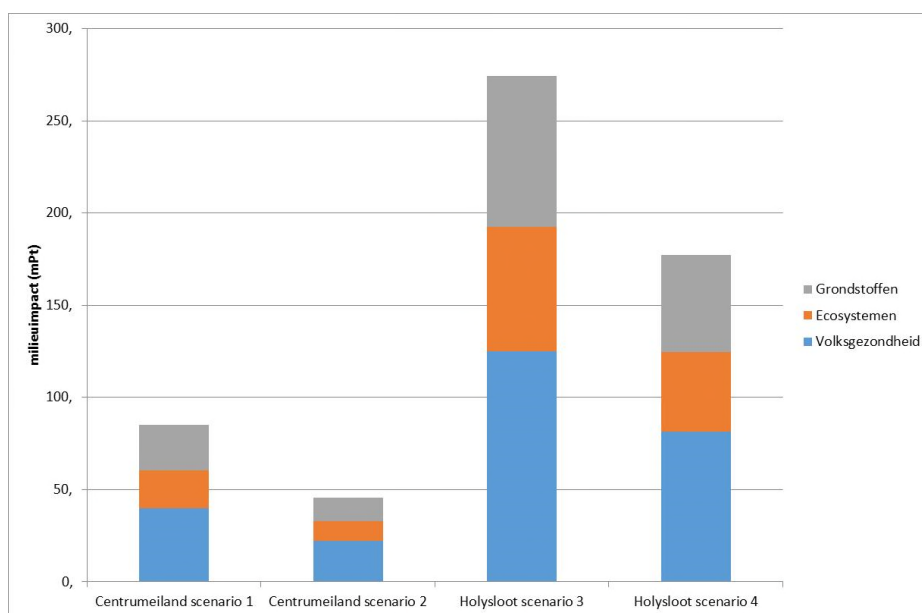
FIGUUR 16: BOOMDIAGRAM HOLYSLOOT MET UV/H₂O₂ PROCES (SCENARIO 4); MARKTCONFORME ENERGIE



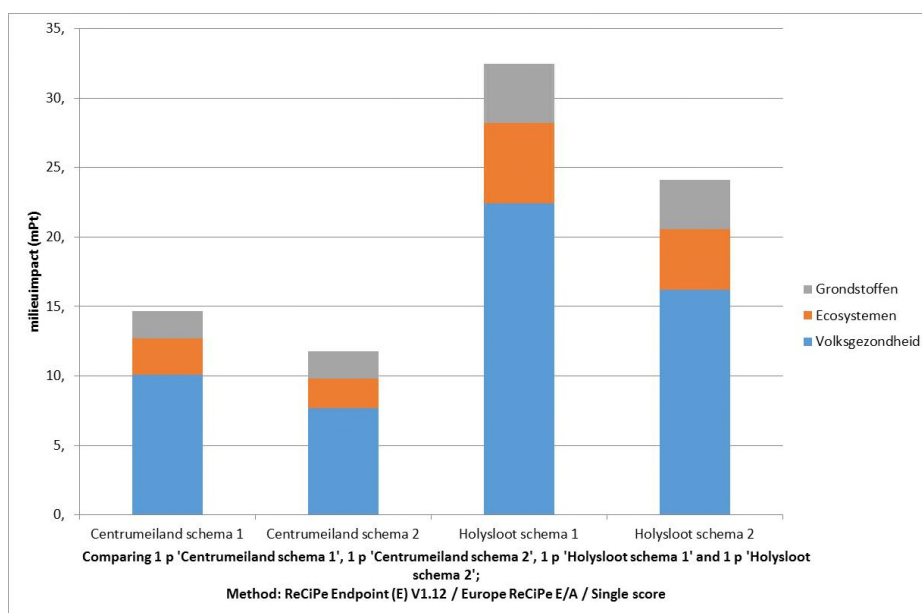
FIGUUR 17: KARAKTERISERING VAN IMPACT OP VERSCHILLENDE MILIEUTERREINEN BIJ GEBRUIK VAN MARKTCONFORME ENERGIE



FIGUUR 18: IMPACT VAN DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S OP VOLKSGEZONDHEID, ECOSYSTEMEN EN GRONDSTOFFEN BIJ TOEPASSING VAN MARKTCONFORME ENERGIE



FIGUUR 19: SINGLE POINT MILIEUIMPACT BIJ TOEPASSING VAN MARKTCONFORME ENERGIE



FIGUUR 20: MILIEU-IMPACT IN ECOPUNTEN VOOR DE VIER SCENARIO'S IN CENTRUMEILAND EN HOLYSLOOT (SINGLE POINT VERGELIJKING) BIJ GEBRUIK VAN GROENE ENERGIE.

Bijlage III

Kostenberekeningen zuiveringsscenario's Centrumeland en Holysloot

TABEL 9: SCENARIO 1 - CENTRUMELAND RO

Proces	Dimensies	Bouwkosten [€]	Investering [€]	R+A [€/y]	O&M [€/y]	Energie [€/y]	Chemicaliën [€/y]	Membraanvervanging [€/y]	Filter [€/y]	Lamp [€/y]	[€/m³]
Schoonwaterbuffer (2 stuks)	5000 m³	983080	1356650	79019	33916						1,76
Vuilwaterbuffer (beton vijver)	14000 m³	316967	437414	25477	10935						0,57
Zelfreinigende zeeffilters	10 m³/uur	9750	13455	784	336	77					0,02
RO membraanunit	400 m²	40000	55200	3215	1380	47	13	1200			0,09
Remineralisatie	1,25 m²	13500	18630	1085	466	256			50		0,03
UV desinfectie	10 m³/uur	3900	5382	313	135	256	0			32	0,01
Distributiepomp	15 m³/uur	2659	3669	214	92	77					0,01
Absoluutfilter	0,73 m²	759	1047	61	26						0,00
Gebouw	50 m²	10000	13800	804	345						0,02
Personeelskosten	6720 €/jaar										0,10
PLC	55000 €	55000	75900	4421	1898						0,10
Totaal		1435615	1981148	115393	49529	713	13	1200	50	32	2,71

TABEL 10: SCENARIO 2 – CENTRUMEILAND AOP

Proces	Dimensies	Bouwkosten [€]	Investering [€]	R+A [€/y]	O&M [€/y]	Energie [€/y]	Chemicaliën [€/y]	Membraanvervanging [€/y]	Filter [€/y]	Lamp [€/y]	[€/m³]
Schoonwaterbuffer (2 stuks)	5000 m³	983080	1356650	79019	33916						1,76
Vuilwaterbuffer (beton vijver)	14000 m³	316967	437414	25477	10935						0,57
Opvoerpomp	10 m³/uur	1500	2070	121	52						0,00
Snel zand filter	1,25 m²	13500	18630	1085	466	256			50		0,03
Peroxidedosering	0,3 L/uur	526	726	42	18	256	3394				0,06
UV / H ₂ O ₂ AOP	10 m³/uur	15300	21114	1230	528	38460	962			480	0,65
Actief kool filter	1,65 m²	15000	20700	1206	518	256			4950		0,11
pH correctie	1,3 m²	13500	18630	1085	466	256			50		0,03
Distributiepomp	15 m³/uur	2659	3669	214	92	77					0,01
Absoluutfilter	0,73 m²	759	1047	61	26						0,00
Gebouw	50 m²	10000	13800	804	345						0,02
Personeelskosten	6720 €/jaar										0,10
PLC	55000 €	55000 €	75900	4421	1898						0,10
Totaal		1427701	1970227	114757	49256	39563	4355	0	5050	480	3,43

TABEL 11: SCENARIO 3 – HOLYSLOOT RO

Proces	Dimensies	Bouwkosten [€]	Investering [€]	R+A [€/y]	O&M [€/y]	Energie [€/y]	Chemicaliën [€/y]	Membraanvervanging [€/y]	Filter [€/y]	Lamp [€/y]	[€/m³]
Schoonwaterbuffer (2 stuks)	20 m³	17291	23861	1390	597						19,86
Vuilwaterbuffer	12 m³	4800	6624	386	166						5,51
Zelfreinigende zeeffilters	1,25 m³/uur	3500	4830	281	121	0					4,02
RO membraanunit	40 m²	17500	24150	1407	604	1	0	160			21,71
Remineralisatie	1,25 m²	1500	2070	121	52	1			5		1,78
UV desinfectie	1 m³/uur	1900	2622	153	66	1	0			3	2,22
Distributiepomp	1 m³/uur	931	1285	75	32	0					1,07
Absoluutfilter	0,73 m²	759	1047	61	26						0,87
Gebouw	10 m²	2000	2760	161	69						2,30
Personeelskosten	1440 €/jaar										14,40
PLC	10000 €	10000	13800	804	345						11,49
Totaal		60181	83049	4837	2076	3	0	160	5	3	85,24

TABEL 12: SCENARIO 4 - HOLYSLOOT AOP

Proces	Dimensies	Bouwkosten [€]	Investering [€]	R+A [€/y]	O&M [€/y]	Energie [€/y]	Chemicaliën [€/y]	Membraanvervanging [€/y]	Filter [€/y]	Lamp [€/y]	[€/m³]
Schoonwaterbuffer (2 stuks)	20 m³	17291	23861	1390	597						19,86
Vuilwaterbuffer	12 m³	4800	6624	386	166						5,51
Opvoerpomp	1 m³/uur	500	690	40	17	0					0,57
Snel zand filter	0,17 m²	1500	2070	121	52	1			7		1,79
Peroxidedosering	0,1 L/uur	426	588	34	15	1	1188				12,37
UV / H ₂ O ₂ AOP	1 m³/uur	4300	5934	346	148	120	2				5,55
Actief kool filter	0,17 m²	1400	1932	113	48	1			495		6,56
pH correctie	0,13 m²	1500	2070	121	52	1			5		1,78
Distributiepomp	1 m³/uur	931	1285	75	32	0					1,07
Absoluutfilter	0,73 m²	759	1047	61	26						0,87
Gebouw	10 m²	2000	2760	161	69						2,30
Personeelskosten	1440 €/jaar										14,40
PLC	10000 €	10.000	13800	804	345						11,49
Totaal		45407	62661	3650	1567	123	1189	0	507	0	84,76

TABEL 13: SCENARIO 5 – HOLYSLOOT RO

Proces	Dimensies	Bouwkosten [€]	Investering [€]	R+A [€/y]	O&M [€/y]	Energie [€/y]	Chemicaliën [€/y]	Membraanvervanging [€/y]	Filter [€/y]	Lamp [€/y]	[€/m³]
Schoonwaterbuffer	2 m³	946	1305	76	33						1,09
Vuilwaterbuffer (beton vijver)	20 m³	2392	3302	192	83						2,75
Opvoerpomp	0,01 m³/uur	931	1285	75	32	0					1,07
Zakfilter 25 µm	0,19 m²	568	784	46	20	0			17,6		0,83
Omgekeerde osmose, actief kool filtratie & UV desinfectie	0,01 m³/uur	855	1222	71	31	1	0	210			3,12
Remineralisatie / pH-correctie	0,01 m³/uur	58	81	5	2	1			58		0,66
Distributiepomp	0,01 m³/uur	931	1285	75	32	0					1,07
Absoluutfilter	0,73 m²	759	1047	61	26						0,87
Gebouw	4 m²	800	1104	64	28						0,92
Personeelskosten	1440 €/jaar										14,40
PLC	10000 €	10000	13800	804	345						11,49
Totaal		18271	25214	1469	630	2	0	210	76	0	38,27

TABEL 14: SCENARIO 6 - HOLYSLOOT AOP

Proces	Dimensies	Bouwkosten [€]	Investering [€]	R+A [€/y]	O&M [€/y]	Energie [€/y]	Chemicaliën [€/y]	Membraanvervanging [€/y]	Filter [€/y]	Lamp [€/y]	[€/m³]
Schoonwaterbuffer	2 m³	946	1305	76	33						1,09
Vuilwaterbuffer (beton vijver)	20 m³	2392	3302	192	83						2,75
Opvoerpomp	0,01 m³/uur	931	1285	75	32	0					1,07
Zakfilter 25 µm	0,19 m²	568	784	46	20	0			17,6		0,83
Kaarsenfilter 5 µm	onbekend	116	160	9	4	1			7		0,21
Peroxidedosering	0,01 m³/uur	500	690	40	17	1	32				0,90
UV / H ₂ O ₂ AOP	0,01 m³/uur	190	263	15	7	120	2				1,43
Actief kool filter	onbekend	137	189	11	5	1			17		0,33
pH correctie	onbekend	58	81	5	2	1			58		0,66
Distributiepomp	0,01 m³/uur	931	1285	75	32	0					1,07
Absoluutfilter	0,73 m²	759	1047	61	26						0,87
Gebouw	4 m²	800	1104	64	28						0,92
Personeelskosten	1440 €/jaar										14,40
PLC	10000 €	10000	13800	804	345						11,49
Totaal		18329	25294	1473	632	123	33	0	99	0	38,02

Bijlage IV

Ondergrondse berging

De informatie in deze paragraaf is afkomstig van Koen Zuurbier van KWR.

Een groot probleem bij de in dit rapport beschreven kleinschalige zuiveringen is de benodigde ruimte voor opslag van opgevangen en van gezuiverd regenwater. Deze problemen zouden mogelijk kunnen worden opgelost door ondergrondse berging toe te passen. Deze variant is in dit rapport niet verder uitgewerkt, omdat nader onderzoek nodig zou zijn om de technische mogelijkheden op deze locaties (bijvoorbeeld het opgespoten zand van Centrameiland) en de daarmee samenhangende kosten in beeld te brengen. Wel is een kort overzicht mogelijk:

De ondiepe ondergrond van Centrameiland is waarschijnlijk behoorlijk kleiig, en daardoor en niet geschikt om te infiltreren. Een vijver zal dus makkelijk overlopen en weer drooglopen. Een vijver met flexibel peil zou je wel de verlangde berging kunnen bieden, maar 14.000 m³ met een diepte van 4 m is een behoorlijk grote vijver. Op >30 m diep komt de eerste goede laag voor infiltratie voor. Daar zal dus een grondwaterput voor nodig zijn. Op deze manier kan de benodigde capaciteit worden verkregen. Ook is het water dan beschermd en al wat 'opgeschoond' na bodempassage, wat mogelijk leidt tot een eenvoudiger c.q. goedkopere zuivering. Met de huidige kennis kan dit wel kansrijk zijn.

Voor de infiltratie kan worden uitgegaan van ongeveer 30 m³/put/uur en als (zeer voorlopige) vuistregel ongeveer één put per hectare afwaterend oppervlak. Dit betekent dat er nog steeds een vrij grote vijver nodig is om het water tijdens piekbuien snel te kunnen opvangen, en dan langzaam te infiltreren.

De kosten voor het boren en ontwikkelen van een put zijn ongeveer 15 k.euro, die voor het afwerken van de bron (het maken van een betonnen beschermput, meet- en regelapparatuur, appendage, een bronpomp) bedragen circa 30 k.euro. De geavanceerde installatie inclusief leidingwerk die nodig is om de voorzuivering, infiltratie en winning te bedienen kost 100-200 k.euro. De kosten van de voorzuivering voor infiltratie zijn sterk afhankelijk van de uitvoering: wordt het een apart zandfilter of wordt het geïntegreerd in de oever van de waterpartij. Voor een put met een capaciteit van 30 m³/uur liggen de kosten rond de 50 k.euro.

Bij Centrameiland zijn we ervan uitgegaan dat tijdens/na een piekbui 4500 m³/uur geïnfiltreerd moet kunnen worden. Daarvoor zijn, volgens bovenstaande aannames, 150 putten nodig, en een oppervlak van 150 ha (de totale oppervlakte van Centrameiland bedraagt 13 ha). De kosten hiervan zouden in de orde grootte van $150 \cdot (30 + 15 + 50) + 200 = 13,7 \cdot 10^3$ k.euro liggen. Dit is aanzienlijk duurder dan het in dit rapport voorgestelde systeem.

Als we uitgaan van slechts 13 putten (op een oppervlak van 13 ha), die dan per stuk wel een twaalf keer grotere capaciteit moeten hebben, kost de installatie ongeveer $1,37 \cdot 10^6$ euro. Dit komt overeen met de prijs van een stalen bufferbak (dubbelzijdig gecoat) van 14.000 m³.

Een bufferbak (maar mogelijk wel iets kleiner) blijft in dit systeem echter toch noodzakelijk. Winst is er mogelijk te halen uit de extra zuivering die infiltratie door de ondergrond oplevert, waardoor het uiteindelijke zuiveringsproces mogelijk iets goedkoper kan worden. Of infiltratie in de opgespoten ondergrond van Centru-meiland haalbaar is zou nog onderzocht moeten worden. Op basis van bovenstaande overwegingen lijkt het echter geen praktische oplossing voor deze specifieke situatie. Mogelijk is dat op een andere locatie wel een interessante optie.