

BTO 2015.15 | November 2014

BTO rapport

Praktijk en Toekomst
van Decentrale
Drinkwaterproductie

BTO

Praktijk en Toekomst van Decentrale Drinkwaterproductie

BTO 2015.15 | November 2014

Opdrachtnummer

400554/053

Projectmanager

ir. J. Frijns

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Trends

Kwaliteitsborger(s)

dr. M.W. van der Zouwen

Auteur(s)

H.J. van Alphen, MSc

Verzonden aan

BTO Themagroep Trends

Jaar van publicatie
2014

Meer informatie

Henk-Jan van Alphen, MSc
T 0655281776

E henk-jan.van.alphen@kwrwater.nl

Keywords

Decentrale drinkwaterproductie

PO Box 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 | November 2014 © 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.

Inhoud

Inhoud	2
1 Inleiding	3
1.1 Inleiding	6
2 Literatuur	8
2.1 Decentrale watertechnologie en strategieën	8
2.2 Evaluatie van de strategieën	11
2.3 Innovatie in de Nederlandse watersector	12
3 Casusonderzoek	14
3.1 Casuselectie	14
3.2 Methode	14
3.3 De Ceuvel – Cleantech Playground	16
3.4 De Wijk van Morgen	20
3.5 Aardehuis	23
3.6 Waterschoon	26
3.7 Green Village Delft	30
3.8 Vergelijking	34
4 Perspectieven voor de Toekomst	37
4.1 Barrières en kansen	37
4.2 What-if scenario	41
5 Discussie en conclusies	44
5.1 Discussie	44
5.2 Strategische opties voor waterbedrijven	45
6 Referenties	47

BTO Managementsamenvatting

Speel in op ontwikkeling decentrale drinkwatervoorziening met visie en transparantie en onderzoek de mogelijkheden om maatwerk te leveren

Auteur(s) Henk-Jan van Alphen, MSc

Er zijn steeds meer technische mogelijkheden voor burgers om zelf drinkwater te produceren en zich mogelijk ook af te koppelen van het waterleidingnet. Op verzoek van de directeurs van de waterbedrijven is een studie gedaan naar een passende responsstrategie bij deze ontwikkeling. Daarbij bleek dat decentrale drinkwaterproductie (nog) niet wijdverbreid is in Nederland en meestal in combinatie met decentrale sanitatie en energieopwekking plaatsvindt. De belangrijkste drijfveren achter de initiatieven zijn experimenteren met nieuwe technologie, aanjagen van duurzaamheid en wens tot zelfvoorzienendheid. De mogelijkheden voor decentrale drinkwaterproductie in de toekomst hangen sterk samen met de ontwikkeling van een circulaire economie. Waterbedrijven kunnen zich voorbereiden op toekomstige ontwikkelingen door onder meer een eigen visie te ontwikkelen, transparant te zijn over de energie- en milieuprestaties van de huidige drinkwatervoorziening en te onderzoeken hoe zij maatwerk in decentrale drinkwatervoorziening zouden kunnen bieden.



Aardehuis in Olst is het meest vergaande initiatief op het gebied van zelfvoorzienendheid en decentrale drinkwaterproductie

Belang: waterbedrijven hebben behoefte aan responsstrategieën voor actuele trends

In het BTO Trends project worden passende responsstrategieën onderzocht die waterbedrijven helpen de kansen te benutten en risico's weg te nemen rond geselecteerde maatschappelijke en technische ontwikkelingen. Waterbedrijven gaven aan

behoefte te hebben aan een responsstrategie op de mogelijkheden voor drinkwaterproductie door burgers zelf, inclusief een inventarisatie van huidige initiatieven op dit gebied, een verkenning van toekomstige mogelijkheden en een inventarisatie van strategische opties voor de drinkwaterbedrijven.

Aanpak: literatuurstudie, analyse van pilots en toekomstverkenning.

Decentrale drinkwaterproductie wordt in Nederland weinig toegepast. In dit onderzoek worden vijf pilots bestudeerd op het gebied van decentrale drinkwaterproductie en/of decentrale sanitatie: de autarkische woningen van Aardehuis; de duurzame kantoorcontainers van De Ceuvel; het Limburgse educatieproject De Wijk van Morgen; decentrale sanitatie bij Waterschoon in Sneek en de Delftse Green Village. Er is een literatuurstudie gedaan naar de potentiële besparingen van decentrale infrastructuur en een toekomstverkenning naar de omstandigheden waaronder decentrale drinkwaterproductie in de toekomst in belang kan toenemen.

Resultaten: technologie decentrale drinkwaterproductie beschikbaar, maar nauwelijks toegepast

De literatuurstudie laat zien dat met decentrale drinkwaterproductie efficiëntievoordelen te bereiken zijn, vooral in situaties waarin ook decentrale sanitatie, waterbesparing en decentrale energieproductie worden ingezet. In de Nederlandse praktijk past men decentrale drinkwaterproductie nog nauwelijks toe. Pilots zijn vooral gericht op decentrale sanitatie en energieproductie, waarbij drinkwater soms een bijproduct is. Het zijn meestal partijen buiten de watersector die hiertoe het initiatief nemen, gemotiveerd door het experimenteren met innovatieve technologieën, het streven naar lokale autarkie en het stimuleren van duurzaamheid. In de toekomst liggen de kansen voor decentrale drinkwaterproductie met name in de ontwikkeling van een circulaire economie.

Implementatie: ontwikkel visie, wees transparant over huidige prestaties en onderzoek leveren maatwerk

Waterbedrijven kunnen enkele activiteiten ondernemen om de kansen en risico's rond decentrale drinkwatervoorziening in goede banen te leiden. De voornaamste aanbevelingen zijn:

- Onderzoek die vormen van decentrale drinkwaterproductie die compatible zijn met de huidige infrastructuur;
- Ontwikkel een visie op decentrale drinkwaterproductie, de maatschappelijke rol van het waterbedrijf daarin, en draag die uit;
- Onderzoek de mogelijkheden tot het leveren van maatwerk op basis van lokale vraag;
- Wees transparant over de prestaties van het huidige systeem op milieudruk,

zelfvoorzienendheid en solidariteit in lokale gemeenschappen;

- Bouw voort op onderzoek naar de rol van (drink)water in de circulaire economie;
- Ontwikkel meer kennis (theoretisch en praktisch) op het gebied van de hele watercyclus in relatie tot energie en grondstoffen.

1 Inleiding

1.1 Inleiding

Op 25 november 2013 besloot de BTO Themagroep Trends een Responsstrategieënonderzoek te laten uitvoeren op het gebied van assetmanagement. Op 13 februari werd de vraag gespecificeerd naar: *Hoe hebben de Nederlandse waterbedrijven de afgelopen vijf jaar gereageerd op de trend richting steeds meer (technische) mogelijkheden voor burgers om hun huizen af te koppelen van het net en, gezien de cases, welke respons lijkt de meest kansrijke te zijn richting de toekomst.* De Themagroep gaf aan dat de toegevoegde waarde van het onderzoek ligt in een metareflectie van de mogelijkheden en de huidige demo's in de bredere context van maatschappelijke trends.

De bedoeling van een Responsstrategieënonderzoek is om, waar mogelijk, bestaande strategieën van waterbedrijven in respons op nieuwe ontwikkelingen te toetsen aan empirische cases en anders strategische inzichten te verschaffen door casusonderzoek en scenario-planning. De individuele waterbedrijven maken hun eigen keuzes wat betreft responsstrategieën, maar hebben belang bij het verder ontwikkelen en toetsen van kansrijke strategieën (reeds bestaande en nieuwe) in de praktijk.

Gaande het onderzoek bleek dat er (vrijwel) geen concrete voorbeelden van afkoppeling door burgers zijn en daarmee dat van een gestructureerde strategische respons van de waterbedrijven nog geen sprake was. Ook een uitbreiding van het onderzoek naar ontkoppeling door industriepartijen leverde onvoldoende empirisch materiaal op. Met het oog op de door de themagroep geformuleerde toegevoegde waarde van het onderzoek, besloot de themagroep dat het onderzoek zou bestaan uit een metastudie naar de casus en een what-if scenario voor een plausibele toekomst waarin ontkoppeling door burgers aan de orde is.

De technische mogelijkheden om op het niveau van huishoudens drinkwater te produceren en afvalwater te zuiveren, is de laatste jaren toegenomen. Deze technologieën zijn in sommige gevallen al zo ver ontwikkeld, dat ze rendabele en veilige alternatieven bieden voor de huidige centrale systemen. Decentrale systemen worden met name toegepast in situaties waarin centrale systemen niet beschikbaar zijn of onvoldoende prestaties leveren. In Nederland worden decentrale technologieën op het gebied van water nog niet veel gebruikt, hoewel hun rendement in een aantal gevallen wel is aangetoond.

De maatschappelijke belangstelling voor decentrale systemen groeit de laatste jaren. In de energiesector is decentrale productie door middel van zonnecellen populair en her en der wordt geëxperimenteerd met kleinschalige stadslandbouw. Ook op wat grotere afstand is een beweging naar de lokale schaal zichtbaar. Nog het meest in de zorg, waarbij initiatieven als buurtzorg het lokale karakter benadrukken en bezuinigingen in de zorg er toe leiden dat mensen zelf zorgtaken gaan uitvoeren.

Dit onderzoek richt zich op de toepassing van decentrale watertechnologie in Nederland. Een ontwikkeling die van uit de waterbedrijven met groeiende aandacht wordt gevolgd. De toepassing van decentrale watertechnologie heeft in potentie een grote impact op de waterbedrijven. Langetermijnbeslissingen omtrent investeringen in infrastructuur zijn onder meer afhankelijk van hoe men in de toekomst met water omgaat. Decentrale

watertechnologie vormt in zekere zin concurrentie voor de huidige systeemopzet, mocht het op brede schaal gebruikt gaan worden.

Dit rapport bestaat uit drie delen. Eerst wordt een inventarisatie gegeven van een aantal decentrale concepten op het gebied van watervoorziening, afvalwaterzuivering en hergebruik en recycling, op basis van een overzichtsstudie. De studie laat zien hoe technologieën in oplopende mate van 'decentraliteit' gecombineerd kunnen worden en wat dat betekent voor hun prestaties. Daarna wordt aan de hand van een ander onderzoek kort stil gestaan bij de vraag waarom dergelijke technologieën nog maar beperkt worden ingezet in de Nederlandse context.

In het tweede deel van het onderzoek worden vijf casus besproken waarin decentrale watertechnologie daadwerkelijk ingezet wordt. De casus worden afzonderlijk besproken en daarna met elkaar vergeleken. De bedoeling is om inzicht te krijgen *wie, waarom* en *op welke manier* bezig is met ontwikkeling en inzet van decentrale watertechnologie.

Het derde deel van het onderzoek richt zich op de toekomstige potentie voor decentrale watertechnologie. Eerst worden de belangrijkste kansen en barrières voor de toepassing van decentrale watertechnologie besproken. Daarna wordt een what-if-scenario geschetst: een radicaal, maar plausibel scenario, dat een kansrijk toekomstperspectief schetst voor decentrale watertechnologie.

In de conclusie wordt stilgestaan bij de consequenties die de huidige ontwikkelingen voor de waterbedrijven hebben en de manier waarop ze daar in de toekomst mee om kunnen gaan.

2 Literatuur

2.1 Decentrale watertechnologie en strategieën

Als introductie op het empirisch materiaal in de casus richt dit onderzoek zich op de (internationale) wetenschappelijke literatuur op het gebied van decentrale watertechnologie. In het bijzonder een onderzoek van Makropoulos en Butler (2010) is in het licht van deze studie interessant.

Makropoulos en Butler (2010) bieden een overzicht van de huidige opties voor decentrale watertechnologie en identificeren vier strategieën om deze toe te passen. De strategieën worden vervolgens vergeleken op hun impact. Watertechnologie verwijst zowel naar (drink)waterproductie als afvalwaterzuivering.

Onderstaande tabel biedt een overzicht van de belangrijkste technologieën op het gebied van *watervoorziening*, *afvalwater* en *recycling en hergebruik*. De met een (D) gemarkeerde technologieën zijn decentraal toepasbaar.

TABEL 1: DECENTRALE WATERTECHNOLOGIEËN (MAKROPOULOS & BUTLER (2010))

Watervoorziening	
Ontzouting	Behandeling van zeewater of brak water tot drinkwaterkwaliteit. Hoge energiekosten en brijn als residu.
Duaal systeem	Dubbel leidingstelsel met drinkwater en niet-drinkwater. Gevaar van kruisverbindingen.
Direct hergebruik van afvalwater	Behandeling van rioolwater tot drinkwater is technisch mogelijk, maar zeer zeldzaam, zelfs in gebieden met grote waterschaarste.
Flessenwater	De consumptie van flessenwater groeit snel.
Waterbesparende apparaten (D)	Nieuwe of aangepaste huishoudelijke apparaten die minder water gebruiken voor dezelfde functies.
Lokale winning (D)	Vergelijkbaar met grondwaterwinning, maar op lokale schaal en meestal voor niet-drinkwatertoepassingen.
Fit-for-purpose levering (D)	Levering van water van specifieke kwaliteit afhankelijk van gebruiksdoel, gekoppeld aan de lokaal beschikbare kwaliteit water.
Point-of-use zuiveringssystemen (D)	Diverse huishoudelijke apparaten (filters, UV, ontharders) voor waterzuivering.
Afvalwater	
Gecombineerde riolering	Riolering waarbij afvalwater en hemelwater in dezelfde buis terecht komen. Vervuiling mogelijk bij zware regenval.
Gescheiden riolering	Riolering waarbij afvalwater en hemelwater gescheiden worden afgevoerd. Gevaar van kruisverbindingen.
'End-of-pipe' zuiveringsinstallatie	Installatie die afvalwater behandelt afkomstig van een centrale riolering.
Real time control	Actieve besturing van riolering en zuiveringsinstallaties op basis van actuele omstandigheden om daarmee prestaties te verbeteren.

Binnen-rioolzuivering	Maatregelen om het zuiveringsproces reeds in de riolering te bevorderen.
Beerput (D)	Kleinschalige opslag van afvalwater. Moet regelmatig geleegd worden.
Septic tank (D)	Kleinschalige opslag van afvalwater met drainage naar de ondergrond. Hoeft minder vaak geleegd te worden.
Package treatment plants (D)	Kleinschalige zuiveringsinstallaties op basis van dezelfde technologie als grootschalige systemen.
Terp-systeem (D)	Gespecialiseerd drainagesysteem, wanneer de ondergrond niet geschikt is voor een septic tank.
Kunstmatige moerassen (D) (helofytenfilter)	Methode van waterzuivering alvorens lozing op het oppervlaktewater.
Zandfilters (D)	Methode van waterzuivering alvorens lozing op het oppervlaktewater.
Membraan bioreactor (D)	Zuiveringsmethode gebaseerd op biologische afbraak en ultrafiltratie, zorgt voor effluent van zeer hoge kwaliteit.
Levende systemen (D)	Serie biologische zuiveringstappen op basis van plantgroei, meestal in de context van een kas.
Kleine-diameter-zwaartekracht-systemen (D)	Kleine rioleringen voor het verplaatsen van kleine afvalwaterstromen.
Lagedrukriolering (D)	Uitstroom van toilet of septic tank die onder lage druk vervoerd wordt.
Vacuümtoiletten/-riolering (D)	Vacuümdruk wordt gebruikt om toiletten door te 'spoelen'.
Luchtverplaatsingstoiletten (D)	Luchtverplaatsing wordt gebruikt om toiletten door te 'spoelen'.
Recycling/reuse	
Acquifer opslag en herwinning	Hervullen van aquifers met hemelwater of gezuiverd afvalwater voor gebruik later.
Effluent dual reticulation	Vergelijkbaar met een dubbel leidingsysteem, alleen wordt er gezuiverd afvalwater als secundaire toevoer gebruikt.
Hemelwateropvang (D)	Opvang en opslag van hemelwater voor (niet-) drinkwatertoepassing.
Grijswatersystemen (D)	Opvang en opslag van huishoudelijk afvalwater voor zuivering en hergebruik voor (niet-)drinkwatertoepassingen.
Groene daken (D)	Begroeide daken voor de opvang, opslag en verdamping van regenwater.
Gecombineerde regenwater- en grijswatersystemen (D)	Combinatie van beide systemen.
Composttoiletten (D)	Toilet dat urine en uitwerpselen omzet in kunstmestvervanger.
Urinescheiding (D)	Speciaal ontworpen toiletten om urine apart op te vangen.
Rioolwinning (D)	Het oogsten van schoon water (bijv. industriewater) en grondstoffen uit rioolwater.
Autonome woningen (D)	Woningen die bijna geheel zelfvoorzienend zijn.
Gesloten watersystemen (D)	Een systeem waarbij al het huishoudelijk afvalwater wordt gezuiverd voor drinkwatertoepassingen. Nog geen systeem bekend voor praktische dagelijks gebruik.
Energie-watersystemen (D)	Een scala aan technieken waarmee energie uit waterstromen onttrokken kan worden.

De onderzoekers onderscheiden op basis van deze technologieën vier strategieën op het gebied van infrastructuur voor het leveren van waterdiensten in nieuw ontwikkelde stedelijke gebieden. De strategieën variëren in de mate waarin decentrale technologieën de plaats innemen van centrale technologieën. De strategieën zijn niet exclusief gericht op de waterbedrijven, maar op alle partijen die betrokken zijn bij de stedelijke waterinfrastructuur.

Strategie 1: Benchmark

Deze strategie gaat uit van de huidige situatie, waarbij alle diensten centraal worden aangeboden en er geen sprake is van hergebruik of recycling van water.

Strategie 2: Next Step

Deze strategie bestaat uit een portfolio van technologieën voor de korte tot middellange termijn en vormt een logische voortzetting van beleid gericht op efficiënt water- en energiegebruik. In dit geval is de benchmark-strategie uitgebreid met waterbesparende apparaten en slimme watermeters. Er wordt onderscheid gemaakt tussen drinkwater en niet-drinkwater. Er is een duaal watersysteem waarbij niet-drinkwaterbronnen (lokaal grondwater of hemelwater) op gemeenschapsniveau worden geëxploiteerd.

Strategie 3: Beperkte Centrale Infrastructuur

Deze strategie moet gezien worden als een reeks technologische opties als reactie op contextafhankelijke beperkingen, bijvoorbeeld infrastructureel of klimatologisch. Het voornaamste doel van deze strategie is het beperken van de inname van drinkwater uit het centrale systeem en tegelijkertijd het beperken van de uitstroom van afvalwater naar het centrale afvalwatersysteem. In deze strategie wordt het niet-drinkwaterdeel van het duale systeem geleverd door gerecycled grijswater, dat, hoewel lastiger te zuiveren dan regenwater, een stabielere bron vormt. Er worden 'low-flusstoiletten' gebruikt om het gebruik van grijswater te beperken.

Strategie 4: Geen Centrale Infrastructuur

Deze strategie representeert de technische mogelijkheden om in omstandigheden waarin centrale infrastructuur maar zeer beperkt mogelijk is toch waterdiensten te kunnen leveren. Bij deze strategie worden lokaal grondwater en regenwater gebruikt voor zowel drinkwater- als niet-drinkwatertoepassingen. Water wordt tot drinkwater gezuiverd op de plek waar het gebruikt wordt. Flessenwater wordt gebruikt als back-up voor het drinkwatersysteem.

TABEL 2: OVERZICHT GEBRUIKTE TECHNOLOGIEËN PER STRATEGIE (MAKROPOULOS & BUTLER (2010))

Strategie	Watervoorziening	Waterzuivering	Recycling/reuse
Benchmark	Centrale drinkwatervoorziening	6-L toiletten Vuilwaterriolering Centrale zuivering	Geen
Next Step	Als Benchmark, met: Waterbesparende apparaten Slimme meters Duaal systeem Lokale niet-drinkwatervoorziening van grondwater of hemelwater	Als Benchmark	Regenwater of grondwater
Beperkte centrale infrastructuur	Als Next Step, behalve: Lokale niet-drinkwatervoorziening van grijswater	Waterbesparende toiletten (1,5L), kleine riolering, centrale zuivering	Grijs water
Geen centrale infrastructuur	Als Next Step, behalve Geen centrale drinkwatervoorziening	Waterbesparende toiletten (1,5L)	Als Next Step

	Lokale zuivering voor zowel drinkwater als niet-drinkwatervoorziening	Woningen zijn met kleine riolering gekoppeld aan gemeenschappelijke beerputten Productie van biogas	
--	---	--	--

2.2 Evaluatie van de strategieën

De vier strategieën worden getoetst op een hypothetische case, representatief voor een nieuwe stedelijke ontwikkeling in het zuidoosten van Engeland, waar ook Londen zich bevindt. Volgens de auteurs biedt de case uitdagende omstandigheden waarbij nieuwe ontwikkelingen geplaatst worden in gebieden waarbij de lokale infrastructuur dicht bij de maximale capaciteit zit en is om die reden wereldwijd relevant. De case is als volgt gespecificeerd:

- *Type ontwikkeling*: stadsuitbreiding
- *Grootte*: 75ha
- *Dichtheid*: 50 woningen/ha
- *Huishoudensgrootte*: 2.4
- *Totale bevolking*: 9,000
- *Grondgebruik*: 35% open ruimte, 20% plaveisel, 45% daken

De strategieën worden beoordeeld op de volgende criteria:

- Totale waterbesparing;
- Vermindering drinkwatergebruik;
- Vermindering niet-drinkwatergebruik;
- Vermindering afvalwater;
- Vermindering gebruik externe watervoorziening (anders dan regenwater, lokaal grondwater, lokaal gerecycled water);
- Vermindering van het energiegebruik.

De strategieën worden vervolgens vergeleken op hun prestaties ten opzichte van de benchmarkstrategie.

TABEL 3: PERCENTUELE VERANDERING TEN OPZICHTE VAN BENCHMARK STRATEGIE

criterium	Strategie 2	Strategie 3	Strategie 4
Totale waterbesparing	27%	37%	40%
Vermindering drinkwatergebruik	45%	45%	50%
Vermindering niet-drinkwatergebruik	27%	18%	18%
Vermindering afvalwater	28%	47%	40%
Vermindering gebruik externe watervoorziening	47%	47%	80%
Vermindering energiegebruik	30-40%	40-45%	-120%

Op het gebied van water vormen alle drie de strategieën een significante verbetering ten opzichte van de benchmark:

- *Strategie Next Step* laat een verbetering zien van zo'n 20% op de meeste criteria.
- *Strategie Beperkte Centrale Infrastructuur* laat dezelfde besparingen zien op het gebied van drinkwater, maar gaat verder in het reduceren van afvalwater door het hergebruik van gezuiverd afvalwater.
- *Strategie Geen Centrale Infrastructuur* laat een radicale afname zien van het gebruik van externe watervoorziening (80-100% afhankelijk van lokale omstandigheden). Veiligheidskwesaties (waterkwaliteit, leveringszekerheid) zijn

lokaal verschillend en hangen af van de kosten van een leiding als back-up of het gebruik van flessenwater.

- Strategie *Beperkte en Geen Centrale Infrastructuur* laten de grootste besparing in drinkwatergebruik zien (tegen de 50%) met als belangrijkste verschil dat in de laatste strategie het water uit lokale bronnen gewonnen wordt.

Op het gebied van energie ontstaat een ander beeld. Strategie 2 en 3 realiseren een energiebesparing van rond de 40%, vooral vanwege afnemende hoeveelheid afvalwater. Strategie 4 leidt echter tot een ruime verdubbeling van het energieverbruik dat is geassocieerd met water.

Makropoulos & Butler concluderen dat er in algemene zin een trade-off bestaat tussen water-, energie- en landgebruik, waarbij het equilibrium wordt bepaald door de stand van de technologie. Ze concluderen dat tot dit equilibrium is bereikt, er op alle drie de terreinen winst is te behalen.

2.3 Innovatie in de Nederlandse watersector

Het in de praktijk brengen van innovaties die op het niveau van pilots succesvol zijn gebleken, is een van de centrale uitdagingen van innovatiemanagement. In een onderzoek naar innovatie in de Nederlandse watersector concluderen De Graaf et al. (2011) dat ondanks de onderkenning van de noodzaak van een meer duurzame stedelijke waterketen en de beschikbaarheid van betrouwbare technologieën daarvoor, de implementatie van nieuwe toepassingen beperkt blijft tot kleinschalige demonstratieprojecten.

Kieboom (2014) beargumenteert dat demonstratieprojecten voor innovaties in die fase stranden, omdat men de complexiteit van adaptieve sociale systemen onderschat en de impact van innovation labs op systeemverandering overschat.

Hegger et al (2007) benadrukken in een studie naar nieuwe sanitatieconcepten zowel het belang van niche-experimenten in de ontwikkeling van innovaties, als de belangrijke rol van de eindgebruiker (de burger) in de acceptatie van innovaties.

De Graaf et al. betogen dat niet zozeer de technologie de beperkende factor is, maar de sociaal-politieke omgeving waarin die technologieën moeten worden geïmplementeerd. Deze omgeving bestaat dikwijls uit een complex samenspel van actoren met uiteenlopende (soms conflicterende) belangen. Veel komt volgens De Graaf et al. aan op de ontvankelijkheid van waterprofessionals om de toepassing van nieuwe technologieën te promoten.

In hun onderzoek naar de ontvankelijkheid van professionals uit de Nederlandse watersector (van waterschappen en gemeenten) richtten De Graaf et al. zich op vier aspecten van ontvankelijkheid:

- *Bewustzijn*: zich bewust zijn van het probleem en de beschikbare oplossingen;
- *Associatie*: associëren van deze oplossingen met de eigen agenda en doelstellingen;
- *Acquisitie*: in staat zijn om de alternatieve opties te acquireren, implementeren en uit te voeren;
- *Toepassing*: voldoende juridische en financiële prikkels hebben om de alternatieve opties toe te passen.

Volgens De Graaf et al. zijn de onderzochte professionals zich voldoende bewust van de alternatieve technologieën die er bestaan en verwachten ze bovendien dat deze op termijn zullen worden toegepast. Hun kennisniveau van deze technologieën is echter laag. Het ontwikkelen van kennis en capaciteiten op het gebied van deze technologieën leidt volgens de onderzoekers tot betere associatie, acquisitie en toepassing.

De ondervraagde professionals zagen een groter belang in theoretische kennis dan in praktische kennis van alternatieve technologieën. Dit hangt volgens de onderzoekers samen met de beperkte praktische toepassing van deze technologieën. Hoe de causaliteit hier precies werkt wordt uit het onderzoek niet duidelijk. Blijft implementatie achter omdat de ondervraagde professionals weinig praktische kennis hebben en daar ook weinig belang aan hechten, of ontberen zij die kennis omdat er nog maar weinig van de technologieën zijn geïmplementeerd. Mogelijk beide.

De onderzoekers betogen dat betrokkenheid van waterprofessionals bij demonstratieprojecten hun ontvankelijkheid voor nieuwe technologieën kan vergroten. Deze conclusie wordt ondersteund door eerder onderzoek van Brown (2009). De Graaf et al. vonden verder dat een subgroep van professionals (de zogenaamde transitiedenkens) betrouwbaarheid, organisatie-ervaring en gevolgen voor ruimtelijke ordening als belangrijkste overwegingen beschouwen bij het toepassen van nieuwe technologieën.

3 Casusonderzoek

3.1 Casusselectie

In dit onderzoek worden vijf casus onderzocht waarbij sprake is van pilots of demo's op het gebied van decentrale watertechnologie en geheel of gedeeltelijke ontkoppeling van het drinkwaternet:

- *De Ceuvel*: onderdeel van de Cleantech Playground, een innovatieproject van o.a. Waternet en Metabolic;
- *De Wijk van Morgen*: innovatieproject van de Hogeschool Zuyd met betrokkenheid van WML;
- *Aardehuis*: een initiatief op basis van het Earthship-concept waarbij een volledig autonome wijk in samenhang met de natuurlijke omgeving wordt ontwikkeld;
- *Waterschoon*: decentraal sanitatieproject in Sneek
- *Green Village*: innovatieproject van o.a. de TU Delft waar onder meer wordt geëxperimenteerd met het ontwikkelen van autarkische woningen.

In vier van de casus (*De Ceuvel*, *Wijk van Morgen*, *Aardehuis* en *Green Village*) is sprake van decentrale drinkwaterproductie. In één casus (*Waterschoon*) is er alleen sprake van decentrale afvalwaterzuivering, maar aangezien dit project op dit moment onder belangstelling staat van een aantal waterbedrijven, is besloten deze casus toch in het onderzoek op te nemen.

3.2 Methode

De analyse van de casus heeft als doel de waterbedrijven inzicht te verschaffen in wat er in de afzonderlijke projecten op het gebied van decentrale watersystemen plaatsvindt. Allereerst wordt de vraag gesteld wie bij het project betrokken zijn. Dat geeft inzicht in welke partijen op dit moment geïnteresseerd zijn in decentrale watersystemen en welke partijen instaat zijn de middelen en organisatiekracht voor dergelijke projecten bijeen te brengen en welke partijen gemeenschappelijke belangen hebben op dit onderwerp.

Ten tweede onderzoeken we de motivatie van waaruit die partijen het betreffende project hebben opgestart. Vaak wordt aangenomen dat alles draait om een sluitende business case, maar een bredere kijk op drijfveren achter dit soort projecten kan zinvolle informatie opleveren over criteria die mensen aan hun toekomstige watervoorziening stellen.

Ten derde kijken we naar de financieringsbronnen waar de projecten gebruik van maken. Dat geeft inzicht in welke partijen op dit moment bereid zijn te investeren in de toepassing van decentrale technologieën.

Ten vierde geven we een overzicht van de toegepaste technologieën en hoe ze gebruikt worden om drinkwater te produceren en/of afvalwater te zuiveren. We leggen daarbij zoveel mogelijk de verbinding met de door Makropoulos en Butler omschreven decentrale watertechnologieën.

Tenslotte geven we een kort overzicht van eventuele evaluatie-onderzoeken die van de projecten beschikbaar zijn.¹

De benodigde informatie is verzameld op basis van beschikbare documentatie en interviews met betrokkenen en experts.

Geïnterviewden	
Jeroen Apers	Apers Architecten
Felix van Bavel	Vitens
Ron Biemans	Evides
Erwin de Bruin	WML
Emile Cornelissen	KWR
Hugo Cortial	Metabolic
Eva Gladek	Metabolic
Wim van Grinsven	Dunea
Jan Peter van der Hoek	TU Delft
Ad de Man	WBL
Joris Meijerink	Aardehuis
George Mesman	KWR
Patrick Smeets	KWR

¹ Alleen van De Ceuvel en Waterschoon is op het moment van onderzoek gedocumenteerde evaluatie beschikbaar

3.3 De Ceuvel – Cleantech Playground

3.3.1 Omschrijving

De Ceuvel is een werkplaats voor creatieve en sociale ondernemingen gelegen aan het Van Hasseltkanaal nabij het IJ in Amsterdam Noord. Het gebied is voor een periode van 10 jaar gepacht van de gemeente Amsterdam door het winnen van een tender om het gebied om te vormen tot een stadsoase.

Het voormalig industrieterrein is ontwikkeld tot een duurzaam stedelijke ontwikkeling. Op de zwaar vervuilde grond komen twaalf woonboten te staan die plaats bieden aan kantoren en ateliers. Op het terrein bevinden zich ook een restaurant, café en bed & breakfast. Een wandelpad van bamboe vormt de verbinding tussen de woonboten. Rond de woonboten zijn bodemreinigende planten geplaatst.

3.3.2 Betrokken partijen

Metabolic
Advanced Waste Water Solutions (AWWS)
Witteveen en Bos
Space and Matter, Smeele Architecture
Jeroen Apers
Delva Landscape Architects
Stichting Doen
Gemeente Amsterdam
InnovatieNetwerk
WaterNet
Bas van Schelven, Waterloft.nl
KWR Watercycle Research Institute

3.3.3 Motivatie

De Ceuvel dient als blauwdruk voor stedelijke ontwikkeling waarbij decentrale technologieën en het volledig recyclen van lokale grondstoffen stedelijke gebieden helpen zelfvoorzienend te worden. De Cleantech Playground is een decentrale cleantech-installatie en een demonstratie- en testterrein voor nieuwe technologieën. De Cleantech Playground is ingericht op basis van drie kernprincipes:

Zelfvoorzienendheid: Op dit moment importeren stedelijke gebieden energie, water en voedsel en exporteren ze afval. Cleantech Playground past het model van een ecosysteem toe op de bewoonde omgeving. Daarmee ontstaat een meer diffuus model van productie en recycling van energie, water en voedsel.

Showcase en demonstratie: De Cleantech Playground biedt bezoekers de kans om de werking van nieuwe systemen te leren kennen, te zien hoe ze met elkaar in verbinding staan en te leren hoe ze zelf te gebruiken.

Experimenteren en testen: De Ceuvel is een terrein voor het benchmarken van bestaande en het ontwikkelen van nieuwe technologieën. Een uitgebreid netwerk van sensoren verzamelt data over energie- en materiaalstromen, gedrag van gebruikers en prestaties van de technologieën. Kennisinstituten kunnen als partners van die data gebruik maken.

3.3.4 Financiering

De Ceuvel wordt in eerste instantie gefinancierd uit een subsidie van de gemeente Amsterdam (€250.000,=) en een lening bij de Triodos-bank (€200.000,=). Daarnaast vindt er verhuur van kantoorruimte plaats. Metabolic ontvangt daarnaast nog financiering voor het testen van technologieën.

3.3.5 Toegepaste technologieën op het gebied van water

Watervoorziening

Drinkwateraansluiting
Village pump (gepland)

Afvalwater

Composttoiletten
Struvietreactor
Vergister (niet gerealiseerd)
Algenreactor (niet gerealiseerd)
Helofytenfilters

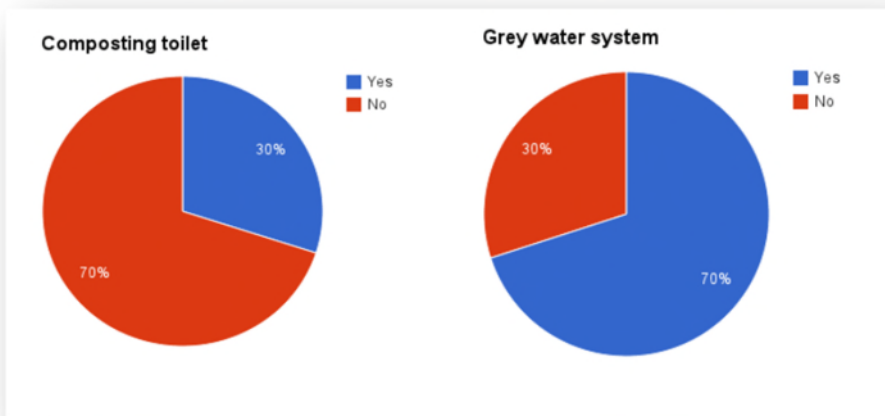
De tot kantoren omgebouwde boten zijn energetisch zelfvoorzienend door goede isolatie, een duurzaam verwarmingssysteem en het gebruik van zonneboilers. De kantoren zijn uitgerust met no-flush toiletten. Er wordt geëxperimenteerd met decentrale afvalwaterzuivering en grondstoffenterugwinning. Urine komt in een struvietreactor en wordt na biofiltratie geloosd.

Het afval uit de composttoiletten wordt opgeslagen en geanalyseerd. Op basis van deze analyse wordt in een volgende fase besloten wat ermee gebeuren moet (vergisting of andere verwerking). Grijs water uit de keukens van de boten (er zullen geen douches of wasmachines komen) wordt behandeld in een helofytenfilter (o.a. riet en olifantengras).

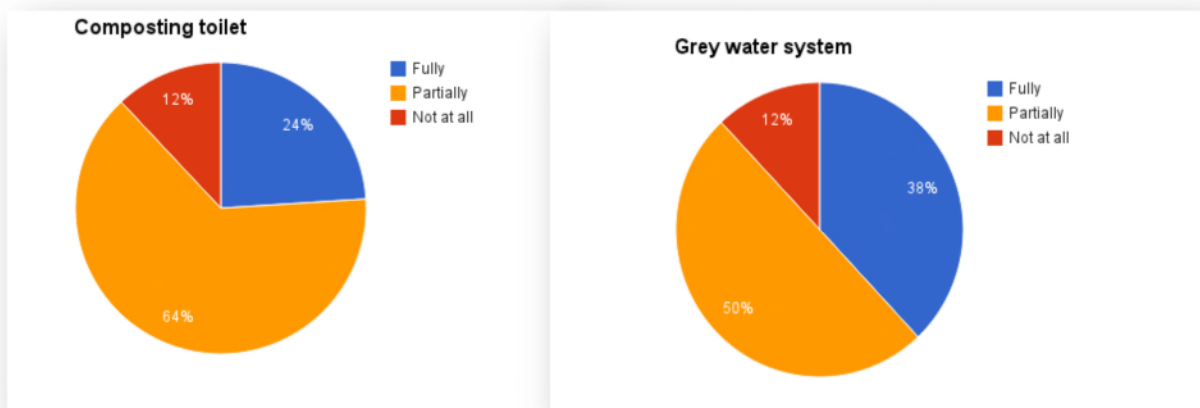
In de volgende fase van het project zal worden onderzocht of een eigen drinkwatervoorziening op basis van hemelwater of oppervlaktewater mogelijk is. Daartoe wordt nu een deskstudie uitgevoerd. Ook zal een Village Pump worden geïnstalleerd die gefilterd hemelwater als drinkwater aanbiedt.

3.3.6 Evaluatie bewoners

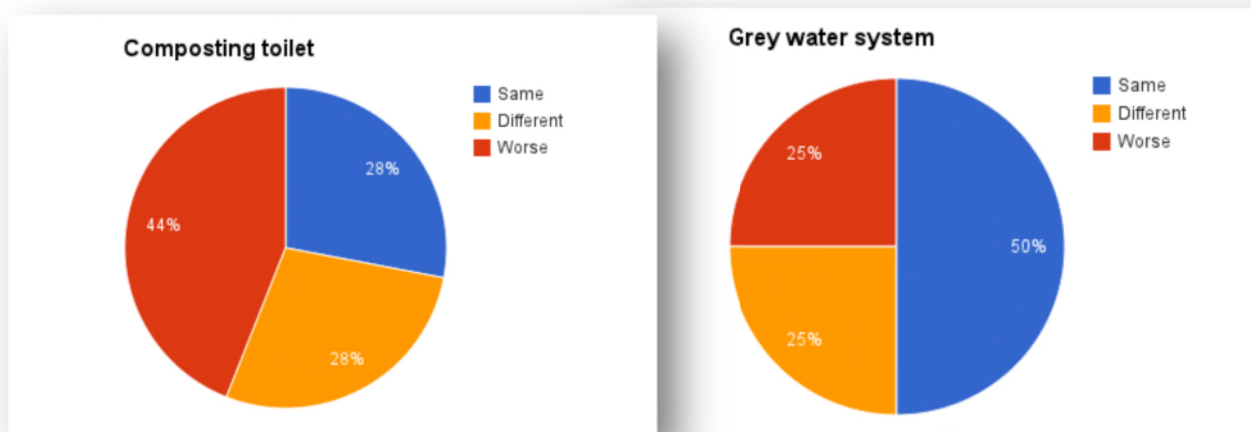
De partijen betrokken bij De Ceuvel hebben onderzoek gedaan naar de tevredenheid van de huurders met (een deel van) de toegepaste technieken, door middel van een enquête. De resultaten van die enquête zijn hieronder weergegeven. De figuren zijn afkomstig uit de Cleantech Playground Research Quarterly Report (Metabolic, 2014)



Figuur 1: Zou je het gebruik van deze technologieën aanraden aan een vriend?



Figuur 2: In hoeverre heb je het gevoel dat je de werking van de toegepaste technieken op de boot begrijpt (zowel de fysische als de biologische aspecten)?



Figuur 3: In vergelijking met een conventioneel alternatief, hoe beoordeel je de ervaring met deze technologie?

Uit de antwoorden wordt duidelijk dat de composttoiletten op minder enthousiasme kunnen rekenen dan het grijswatersysteem. Onderstaande tabel geeft specifiekere weer welke klachten de gebruikers rapporteren, wat hun oorzaak is en wat een eventuele oplossing voor het probleem zou zijn.

	GREY WATER SYSTEM	HEATING SYSTEM	COMPOSTING TOILET		
MAIN ISSUES	Smells	Slight delay for warming	Smells	Flies	Not practical
PROVENANCE/ CAUSE	Uncontrolled anaerobic digestion in settling drums	Standard functionment of the system	Moisture content is not balanced	Natural attraction of Fungus Gnat fly for composting organic matter	Standard functionment of the system
SOLUTION	Add aeration/ remove settling drums	none	Follow manufacturer guidelines (additive quantity, water addition)	Add biodegradable insecticid a few times at the beginning to kill existing eggs and prevent future laying	none

Figuur 4: Problemen en oplossing grijswater- en toiletsystemen

3.4 De Wijk van Morgen

3.4.1 Omschrijving

De Wijk van Morgen is een innovatieprogramma in het kader waarvan op het European Science and Business Park Avantis te Heerlen/Aken op basis van vier O's (Onderwijs, Onderzoek, Ondernemers en Overheid) een experimentele omgeving is gecreëerd voor de transitie naar een duurzaam gebouwde omgeving

De Wijk van Morgen is vanaf 2009 ontworpen, gebouwd en geëxploiteerd. Er zijn inmiddels 3 gebouwen (kantoorwoningen) Er worden vier gebouwen gerealiseerd op het bedrijventerrein Avantis. Mogelijk wordt nog een vierde woning gerealiseerd. Alle gebouwen hebben een ander thema, denk hierbij aan energie, materiaalgebruik en landgebruik. De bouw van deze eerste drie gebouwen is mede mogelijk gemaakt door het Energie Onderzoek Programma (EOS-Demo) van het Ministerie van Economische Zaken en AgentschapNL. Alle gebouwen zijn ontworpen door afgestudeerden van Hogeschool Zuyd, faculteit Bèta Sciences and Technology. Inmiddels worden er exploitatiemodellen onderzocht om de bezettingsgraad van deze kantoorwoningen zeker te stellen.

3.4.2 Betrokken partijen

De Wijk van Morgen hanteert een open innovatiemodel, waarbij verschillende organisaties innovatieve activiteiten op het terrein kunnen ontplooiën. Initiatiefnemer is de Hogeschool Zuyd en de coördinatie is in handen van RiBuiLT, het Research Institute Built Environment of Tomorrow van Hogeschool Zuyd. Ontwerp en bouw van de verschillende onderdelen vindt plaats door samenwerking tussen leerlingen van hbo-, mbo- en vmbo-scholen in samenwerking met marktpartijen. Voor het onderdeel water is het Waterschapsbedrijf Limburg (WBL) benaderd om samen met partners te werken aan een concept waarbij geen aansluiting aan de drink- en afvalwaterinfrastructuur nodig is. Deze samenwerking is gestart in oktober 2012 en heeft een looptijd van twee jaar. WML is betrokken bij het drinkwaterdeel van het project.

Hogeschool Zuyd	Herle College
Arcus College	SVO PL
CITAVERDE College	LVO
IDES-EDU	Intelligent Energy Europe (IEE)
Fundéon	Bouwmensen Limburg-Zuid
Provincie Limburg	Avantis
Gemeente Heerlen	NV Industriebank Liof
HEEMWonen	Woonpunt
Wonen Limburg	Cauberg-Huygen
TNO	ECN
GBRL-procesmanagement	AM Energy
CroonenGilissen	Bouwbedrijven Jongen
Laudy Bouw & Ontwikkeling BV	Imtech
Cofely	Mammoet
Dreessen Architecten	Deloitte
Arcadis	AON
Crasborn Grafisch Ontwerpers	Plaka Nederland
MetsäWood	Waterschapsbedrijf Limburg
Agentschap NL	Clina Heiz- und Kühlelementen
Volantis Adviseurs en Ingenieurs	Ingenieursbureau Van de Werf & Nass

Heijmans	Rockwool
Solland Solar	Frencken Scholl Architecten
Architectuur Egon Starren	ZEN Renewables
Deerns	DGMR Bouw
HAS Hogeschool	SGS
Palte BV	Stadsregio Parkstad Limburg
Satijnplus Architecten	Roger Pellaers Deco & Stijl
Delta Ohm Benelux	Bruco Import
HOMIJ Technische Installatie	Helwig Timmerfabriek
Leeuwenborgh	Incubator E
Warmteplan	Janssen Recycling
LeAF	RainSafe
HBI Bisscheroux	WML/WBL

3.4.3 Motivatie

De oorsprong van De Wijk van Morgen gaat terug tot 2006, terug naar het moment waarop de faculteitsdirecteuren van de faculteiten Bouw en Techniek van Zuyd Hogeschool de ambitie uitspreken een Research- en Innovatiecentrum voor Bouw en Nieuwe Energie te willen realiseren op het grensoverschrijdende bedrijventerrein Avantis.

Aanjager van duurzame ontwikkelingen

In dit innovatieprogramma worden duurzame technieken ontworpen, bestudeerd en uitgetoetst, opdat ze morgen in steden, wijken en gebouwen in de (EU) regio worden toegepast. De Wijk van Morgen vormt zo een aanjager van duurzame ontwikkeling in de regio.

Leer- en onderzoeks- en demonstratieomgeving

Doel van het terreingedeelte van De Wijk is een leer- en onderzoeksomgeving voor studenten creëren op het gebied van nieuwe technieken in de bouw, waarbij duurzaamheid centraal staat. Naast de hogeschool doen ook mbo- en vmbo-scholen mee.

Inmiddels is het initiatief uitgegroeid tot een belangrijke demonstratieomgeving voor nieuwe ontwikkelingen op het gebied van duurzaam bouwen en duurzame energievoorziening voor de gebouwde omgeving. Bedrijven en studenten werken samen aan projecten, waarbij ze gebruik maken van de laatste stand van de techniek. Nieuwe productideeën ontstaan in deze omgeving, die in samenwerking met bedrijven, Hogeschool Zuyd en andere kennisleveranciers binnen de Euregio verder ontwikkeld worden.

Er wordt voortdurend onderzoek gedaan naar nieuwe innovaties en systemen, waarvan de uitkomsten voor iedereen toegankelijk zijn. Het onderzoeksinstituut RiBuiT, dat bestaat uit de lectoraten Gebouwde Omgeving en Regionale Ontwikkeling, Nieuwe Energie en Innovatie Bouwproces en Techniek is nauw betrokken bij De Wijk van Morgen.

3.4.4 Financiering

De meeste deelnemende partijen aan het project zijn tevens sponsors. Daarnaast heeft de Wijk van Morgen een bijdrage ontvangen uit het Europese Fonds voor Regionale Ontwikkeling, vanuit het Ministerie van Economische Zaken en vanuit Stadsregio Parkstad Limburg.

3.4.5 Toegepaste technologieën op het gebied van water

Watervoorziening (productie)

Drinkwateraansluiting

Hemelwaterafvoer en -buffering

Zuivering van regenwater: UV, ozon, filtratie (niet operationeel)

Afvalwater

No-mix-toiletten

Composttoiletten

Vacuümtoiletsysteem (niet gerealiseerd)

Douche met water- en warmteterugwinning (niet gerealiseerd)

Septic Tank (niet gerealiseerd)

Helofyten-filterketen (niet gerealiseerd)

Opslag (niet gerealiseerd)

Energieterugwinning (niet gerealiseerd)

Er is een zogenaamd 0-waterconcept ontwikkeld met als onderdelen : productie van water, verbruik van water en zuivering en winning van water. Met het 0-waterconcept wordt energie bespaard en ontstaan er kansen voor P- en N-terugwinning, bronaanpak voor pathogenen en medicijnen en hormonen. Dit concept is tot stand gekomen door consultatie van waterketenpartners, Stowa, Leaf en gespecialiseerde bedrijven.

Het 0-waterconcept is een combinatie van technologieën met als doel een gebouw (of meerdere gebouwen) zoveel mogelijk onafhankelijk van de bestaande centrale infrastructuur van water te voorzien en het gebruikte water te verwerken. Door het toepassen van waterbesparende toilet- en douchesystemen wordt het waterverbruik sterk verminderd. De verschillende watergebruikers worden voorzien met gezuiverd regenwater (UV, ozon en filtratie), zo nodig aangevuld met drinkwater. Het grijze (douche, vaatwasser, keuken) afvalwater en het toiletwater wordt gescheiden stromen (geel en bruin) afgevoerd en ter plaatse gebufferd dan wel gezuiverd. In het geval van de Wijk van Morgen is het 0-waterconcept maar gedeeltelijk in de praktijk gebracht (alleen het gebruiksdeel).

Er zijn een tiental deelprojecten geformuleerd met mogelijke innovaties. Deze zijn echter nog niet tot uitvoering gekomen. In de drie gebouwen zijn wel voorzieningen getroffen zoals een dubbel leidingsysteem voor aan- en afvoer van water en specifieke toiletsystemen (No-Mix en waterloze urinoirs) . De overige voorzieningen zoals een regenwaterbuffer en zuivering alsook een opvang en zuivering van afvalwater zijn nog niet gerealiseerd.

3.5 Aardehuis

3.5.1 Omschrijving

Vereniging Aardehuis Oost-Nederland realiseert in de buurt van Olst een duurzame wijk met 23 huizen gebaseerd op het Earthship concept. Een Earthship is een autonoom gebouw gemaakt van afgedankte autobanden volgestampt met aarde, meestal geschikt in U- of hoefijzervormige modules. Elke band wordt handmatig gevuld met aarde en aangestampt met een voorhamer. Niet-dragende binnenmuren zijn vaak blikjesmuren, muren gemaakt met gerecycleerde blikjes (of flessen) als bouwstenen. De muren worden doorgaans dik gepleisterd met adobe, leem of kalk. Het dak wordt zwaar geïsoleerd.

Vensters aan de zonnige kant laten licht en warmte binnen. De opening van de U vorm wijst naar de zon (het zuiden in het noordelijk halfrond, het noorden in het zuidelijk halfrond). Op die manier vangt het gebouw in de koude maanden het maximum aan zonlicht. Een earthship is ontworpen om samen te werken met de omgeving en heeft eigen energievoorzieningen.

In het najaar van 2011 werd begonnen met de bouw van een woonwijk van 23 aardehuizen (op earthship geïnspireerde woningen) in Olst, die rond 2015 gereed zullen zijn. Drie daarvan zijn huurwoningen, de overige 20 zijn koopwoningen. Daarnaast wordt een gemeenschapshuis gebouwd, met een gemeenschappelijke en deels publieke functie. Deze wijk wordt gebouwd als CPO-project door de bewoners zelf met medewerking van professionals en vrijwilligers.

3.5.2 Betrokken partijen

ASK	BAM Woningbouw
Building Community	Byte
Creatieph	Michiel Schim van der Loeff
Dusseldorp	Ecobouwen
Ecollectief	Flierman Techniek
Gemeente Olst-Wijhe	Gemeente Zwolle
Grontmij	Ins Blaue
Landstede	Maris
Nieman Groep	Notariaat Roelofs
Orio Architecten	Premacultuur
Provincie Overijssel	Salland Wonen
Hogeschool Saxion	sWz
Thoma Assurantie- en pensioenadviseurs	VAR
Vrielink Makelaardij	Hogeschool Windesheim

3.5.3 Motivatie

De vereniging Aardehuis Oost-Nederland wil bouwen, werken, wonen en leven in harmonie met de natuur, in verbondenheid met elkaar en ter inspiratie van de wereld om zich heen. Dat doen zij door een ecologische wijk te realiseren van zelfvoorzienende aardehuizen (gebaseerd op zg. Earthships), waarbij alle aspecten van duurzaamheid in onderlinge samenhang met elkaar in balans zijn.

Zelfvoorzienendheid

Het project maakt optimaal (her)gebruik van lokaal aanwezige restmaterialen, grondstoffen en natuurlijke processen. Projectonderdelen/bewoners zijn zelfvoorzienend in energie, watervoorziening en -zuivering. De mondiale voetafdruk van de bewoners wordt hiermee gereduceerd tot een fractie van het Nederlands gemiddelde.

Onderlinge solidariteit

In het project realiseert Aardenhuis een vorm van 'Centraal Wonen' waarbij onderlinge solidariteit een leidend beginsel is – onder meer door ecologisch bouwen en wonen toegankelijk te maken voor elke beurs; waarbij collectieve voorzieningen worden gedeeld; waarbij onderling respect en communicatie de individuele vrijheid op een natuurlijke wijze begrenzen.

Educatie

Het project heeft een educatieve doelstelling ter bevordering van een duurzame levensstijl in het algemeen, en CO₂-neutraal bouwen en wonen in het bijzonder. In het project wordt wonen en kleinschalige werkgelegenheid met elkaar gecombineerd. Deze werkgelegenheid wordt in belangrijke mate gecreëerd via educatieve en recreatieve projectonderdelen.

3.5.4 Financiering

De opstart van het project is deels gefinancierd met subsidies:

- €200.000,= (duurzame dorpenprijs)
- €50.000,= (Provincie haalbaarheidsonderzoek)

Het project wordt uiteindelijk hoofdzakelijk gefinancierd uit de verkoop van woningen. Daartoe was alleen de Rabobank bereid om hypotheek te verstrekken. Drie van de woningen zijn eigendom van een woningcorporatie en zullen worden verhuurd. De prijs voor een woning van 115 m² is ongeveer €230.000,=

3.5.5 Toegepaste technologieën op het gebied van water

Watervoorziening

Lokale winning

FERMANOX

Afvalwater

Helofytenfilter

Composttoiletten

Drinkwater

Voor de zuivering van drinkwater maakt Aardenhuis gebruik van het zogenaamde FERMANOX-systeem. De zuivering met FERMANOX vindt in de bodem plaats. De zuivering vindt plaats door zuurstofhoudend water terug te laten vloeien in de bodem. IJzer, mangaan en ammonium worden door de reactie met zuurstof uit het water verwijderd. Het FERMANOX-systeem heeft twee bronnen nodig die minimaal 20 meter uit elkaar zijn geplaatst. In verband met het terugvloeien van water in de bodem moet er ongeveer 1,5 zoveel water worden opgepompt als er uiteindelijk aan drinkwater geproduceerd wordt. Het FERMANOX-systeem kan worden aangevuld met actiefkoolfilters, UV-filters en vitalisatoren.

De maandlasten voor dit drinkwatersysteem, inclusief afschrijving na 30 jaar en testen van het drinkwater volgens 'VROM-normen' zijn circa €13,- per maand per huishouden. Dit is exclusief de aanleg van het leidingensysteem in de wijk. Aangezien het FERMANOX-systeem in deze opzet minder dan 10m³ grondwater uit de bodem onttrekt is er geen vergunning nodig en hoeft er geen belasting betaald te worden.

Afvalwater

Grijs afvalwater wordt gezuiverd met een helofytenfilter. Door het gebruik van Nonolet composttoiletten is er nauwelijks zwart water.

3.6 Waterschoon

3.6.1 Omschrijving

In de wijk Noorderhoek in Sneek, is een nieuw concept voor de inzameling, transport en verwerking van afvalwater en groente- en fruitafval (GF) ontwikkeld, in bedrijf genomen en getest.

Dit concept, genaamd 'Waterschoon' is naast de verwerking van afvalwater en GF-afval ingericht op het maximaal (terug)winnen van energie en van de belangrijke grondstof fosfaat en het minimaliseren van drinkwatergebruik. Het decentrale systeem is in 2008 ontworpen voor ruim 550 inwoners. In 2011 zijn 62 wooneenheden (met circa 79 bewoners) in gebruik genomen. In de periode tot eind 2016 zal het aantal aangesloten personen toenemen tot circa 400. Het project Waterschoon is aangelegd om de mogelijkheden van nieuwe sanitatie in woningen te doorgronden en de prestaties ervan te evalueren.

3.6.2 Betrokken partijen

Woningstichting De Wieren
Wetterskip Fryslân
DeSaH
Súdwest Fryslân
STOWA

Woningstichting de Wieren is verantwoordelijk voor de projectontwikkeling van het gebied (bouw 232 woningen). Daarbij realiseert ze ook het NUTS-gebouw waarin het Waterschoon-systeem wordt geplaatst.

DeSaH BV is verantwoordelijk voor de projectcoördinatie, heeft het ontwerp van het complete zuiveringssysteem gemaakt en heeft gefaciliteerd in de subsidieaanvragen. Gedurende de looptijd van het project wordt het beheer en onderhoud door DeSaH uitgevoerd en wordt de wetenschappelijke evaluatie door DeSaH verzorgd

De gemeente Súdwest-Fryslân is eigenaar en beheerder van het vacuüm/rioolsysteem zoals dat in het openbare gebied is aangelegd.

Wetterskip Fryslân houdt toezicht op de bouw en het beheer en levert een bijdrage aan het onderzoek van het Waterschoon-systeem in de wijk Noorderhoek.

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) vergaart, ontwikkelt en verspreidt kennis die nodig is om de opgaven waar waterbeheerders voor staan goed uit te voeren. Nieuwe Sanitatie is één van de onderzoeksthema's van de STOWA.

3.6.3 Motivatie

Duurzaamheid

Met Waterschoon geven de deelnemende partijen invulling aan de ambitie om duurzamer om te gaan met het milieu. Het hergebruiken van afvalstoffen en het beperken van grondstof- en energiegebruik vormt daarin de centrale motivatie.

Innovatie

Woningstichting de Wieren, DeSaH bv, Wetterskip Fryslân, gemeente Súdwest-Fryslân en Stowa willen hoog inzetten op duurzaamheid. De herstructurering in de woonwijk Noorderhoek in Sneek biedt de kans om innovatieve en duurzame technologieën toe te passen, door in de wijk het Waterschoon-systeem toe te passen.

3.6.4 Financiering

De projectontwikkeling wordt gefinancierd door Woningstichting De Wieren evenals de kosten voor het DeSaH-systeem. Het vacuümrioleringsysteem is eigendom van de gemeente Súdwest-Fryslân.

3.6.5 Toegepaste technologieën op het gebied van water

Watervoorziening

Drinkwateraansluiting

Afvalwater

Vacuümsysteem voor zwart water en GF-afval

UASB-reactor

Gescheiden grijswatersysteem

OLAND-proces

Struvietreactor

Drinkwater

Drinkwateraansluiting. Vanwege het gebruik van vacuümtoiletten neemt het drinkwaterverbruik met 25% af (de Graaff, 2010).

Afvalwater

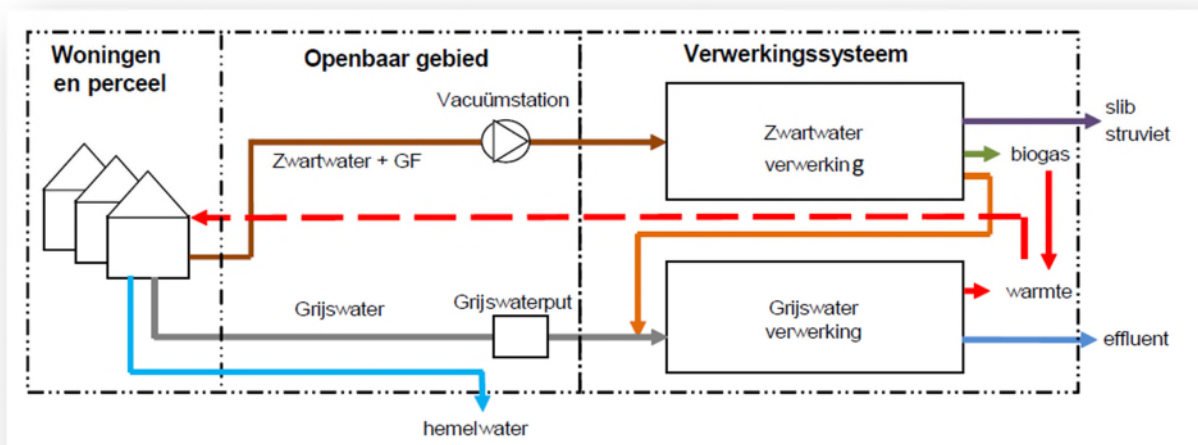
Samengevat bestaat Waterschoon uit de volgende onderdelen:

- Volledig zuiveren van de zwartwater- en grijswaterstromen;
- Verwerken van groente- en fruitafval;
- Biogasproductie uit zwart water en GF-afval;
- Warmteterugwinning uit grijswater;
- Gebruik vrijgekomen energie in de vorm van warmte in woningen;
- Produceren van kunstmestvervanger (struviet).

Het zwart water wordt samen met organisch afval (groente en fruit) ingezameld via een vacuümsysteem. Het huishoudelijk afvalwater (grijs water) wordt gescheiden ingezameld. De beide stromen worden apart van elkaar schoongemaakt en geloosd op het oppervlaktewater.

Door middel van vergisting wordt biogas gewonnen uit zwart afvalwater en GF-afval. Hiervoor wordt een Upflow Anaerobic Sludge Bed reactor (UASB) gebruikt. Stikstof wordt verwijderd doormiddel van het Oxygen Limited Autotrophic Nitrification Denitrification-proces (OLAND). Daarna vindt chemische fosfaat- en stikstofverwijdering plaats in een struvietreactor.

Grijs water wordt in twee stappen gezuiverd met een biologisch aëroob proces. De eerste stap absorbeert colloïdaal, zwevend en in enige mate opgelost materiaal aan slibvlokken. De tweede stap verwijdert onder inblazen van lucht het resterende organische materiaal en zet ammonium om naar (hoofdzakelijk) nitraat.



Figuur 5: Witteveen + Bos (2014)

3.6.6 Evaluatie

Waterschoon is uitgebreid geëvalueerd door Witteveen+Bos in een rapportage van oktober 2014. Er is onder andere gekeken naar de effectiviteit van het systeem en de ervaring van bewoners. Bij de evaluatie is het systeem vergeleken met een 'referentie-RWZI'.

Waterverbruik

Door het gebruik van een vacuümsysteem voor zwart water en groente- en fruitafval wordt circa 25% water bespaard (90 liter i.p.v. 120 liter per persoon per dag).

Effectiviteit zuivering

Het Waterschoonsysteem is in staat om huishoudelijke afvalwaterstromen, aangevuld met GF-afval, met een hoog rendement te zuiveren. De restemissies zijn bij de huidige belasting lager dan die van een referentie-RWZI. Voor fosfaat zijn de emissies hoger, maar dat is volgens de onderzoekers het gevolg van de huidige onderbelasting van het systeem, waardoor er te weinig slib wordt geproduceerd.

Het systeem functioneert technisch goed in is nagenoeg storingsloos. Echter, de monitoringsperiode is te kort om een goede evaluatie te kunnen doen van beheer en onderhoud.

Energie

Energetisch presteert het huidige Waterschoonsysteem netto 10x slechter dan de referentie-RWZI. Dit heeft vooral te maken met het hoge elektriciteitsgebruik van de waterbehandeling. Dit hoge energiegebruik wordt grotendeels verklaard door de onderbelasting van het systeem, waardoor het 'vaste energiegebruik' toegerekend wordt aan een relatief klein aantal aangesloten lozers. Bij optimalisatie en uitbreiding van het systeem naar 1200 eenheden presteert het Waterschoonsysteem naar verwachting gelijk aan of beter dan de referentie-RWZI.

Duurzaamheid

Volgens een LCA waarin het systeem kwalitatief en kwantitatief is beoordeeld, scoort de referentie-RWZI beter op duurzaamheid dan het Waterschoonsysteem. Als beide systemen worden doorgerekend op het gebruik van 100% windenergie en er in beide systemen energiebesparende maatregelen worden toegepast, zijn de referentie-RWZI en het Waterschoonsysteem vergelijkbaar. De referentie-RWZI scoort beter op het gebruik van materiaal, hier treedt duidelijk een schaalvoordeel op.

Kosten

Waterschoon is ongeveer 6x duurder dan de referentie-RWZI, ook als het systeem volledig belast wordt. Dit beeld is volgens de onderzoekers vertekend door de relatief dure installaties en de hoge kosten aan maatwerk en ontwikkeling. Als er op deze punten in de volgende projecten besparingen kunnen worden gerealiseerd, komen de kosten naar schatting gelijk uit.

Bewonersonderzoek

Direct na de ingebruikname van het Waterschoonsysteem is er een tevredenheidsonderzoek onder bewoners uitgevoerd. Het onderzoek laat zien dat de bewoners in het algemeen tevreden zijn over het project. De meerderheid vindt het een handig en hygiënisch systeem, vooral de vermaler van GF-afval als vervanger van de groene container. Ze zijn er trots op deel uit te maken van het project en hun bijdrage te leveren aan een beter milieu. Ook het vertrouwen in de betrokken actoren is groot en men vindt de informatievoorziening goed geregeld.

Het geluid van het vacuümtoilet tijdens de 'spoeling' is een aandachtspunt. Middels enkele technische aanpassingen kan het geluid worden gereduceerd. Dit zal in de nog te bouwen woningen ook worden doorgevoerd. Naast technische oplossingen kan ook worden gedacht aan een andere manier van 'framing', bijvoorbeeld door een prominenter vergelijking te maken met toiletten in een boot of vliegtuig.

3.7 Green Village Delft

3.7.1 Omschrijving

Aan de TU Delft werken wetenschappers, studenten en bedrijven gezamenlijk aan het Green Campus project. Onderdeel van dit project is het concept van de Green Village. De Green Village wordt gebouwd als een dorp van zeecontainers: 30 zeecontainers worden aangepast tot werkplekken, ontmoetingsruimten, een restaurant en laboratoria. De Green Village zal niet worden aangesloten op het elektriciteits- en waterleidingnet en het riool. Het watersysteem dat in deze paragraaf wordt beschreven, bestaat alleen nog op papier. Het zal in de komende jaren worden gerealiseerd (Van der Hoek et al, 2014)

3.7.2 Betrokken partijen

TU Delft
TNO
Building Brains
Gemeente Rotterdam
Ministerie van Economische Zaken
Direct Current
BeNext
FemtoGrid
Solesta
Oskomera
Priva
Top-Cool
Joulz

3.7.3 Motivatie

De initiatiefnemers omschrijven hun doelstelling als volgt: "Creating a sustainable, lively and entrepreneurial environment where we discover, learn and show how to solve society's urgent challenges." Ze specificeren hun motivatie verder in het uiteenzetten van vier missies met betrekking tot duurzaamheid:

THE GREEN VILLAGE MISSIONS	
CLEAN ENERGY PRODUCER	Energy efficient Green Buildings Electric transport Clean Lighting systems Smart heat grids Smart DC electricity grids
WASTE AS RESOURCE	Re-use and recycling Material production from waste Circular products Circular buildings Smart waste grids
CLEAN WATER PRODUCER	Water efficient Re-use of waste water Produce from rain Produce with fuel cell Smart water grids
CLEAN AIR PRODUCER	No CO ₂ emissions into the air Reduction of fine dust in the air Removing NO _x from the air Production of oxygen

Figuur 6: www.greenvillage.org

De Green Village is niet statisch in die zin dat het de bedoeling is om voortdurend nieuwe concepten en technologieën uit te proberen die bijdragen aan een of meer van de missies. Daarbij noemen de initiatiefnemers nadrukkelijk de samenwerking tussen wetenschappers, studenten en bedrijven. Een laatste aspect is het omzetten van kennis en ideeën van innovators in 'commercially viable products', vaak aangeduid als kennisvalorisatie.

3.7.4 Financiering

De financieringsbronnen van de Green Village zijn divers. De TU Delft draagt een deel van de financiering en er zijn subsidies van diverse overheden (Gemeente Delft, Ministerie Economische Zaken, Agentschap SZW, EU) Deelprojecten worden medegefinancierd door bedrijven en bedrijven hebben de mogelijkheid een container op het terrein aan te schaffen. Voor afzonderlijke innovatieprojecten wordt ook gebruik gemaakt van crowd funding.

3.7.5 Toegepaste technologieën op het gebied van water

Watervoorziening
Hemelwateropvang
Gezuiverd grijs water
Ultrafiltratie
UV
Afvalwater
Membraan bioreactor
Ozonificatie
Actiefkoolfilter
UASB

Het watersysteem dat voor de Green Village is ontworpen, is gebaseerd op drie concepten:

1. Het terugdringen van het watergebruik door efficiënt gebruik te maken van water en waterbesparende maatregelen in te voeren.;
2. Het gebruik van grijswater (53%) en regenwater (47%) als ruwwaterbronnen onder andere voor drinkwaterproductie door middel van een 'multiple barrier treatment concept';
3. Anaerobe behandeling van zwart water voor herwinning van energie.

Met deze drie concepten is het mogelijk een autarkische watervoorziening te organiseren. Vanwege strenge wetgeving wordt er alleen maar drinkwaterkwaliteit geproduceerd. Onderstaande tabellen en schema's geven het watersysteem van de Green Village weer.

Bij het ontwikkelen van het watersysteem zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Vaststellen welke waterkwaliteiten benodigd zijn voor de verschillende activiteiten in de Green Village en rekening houdend met de strenge Nederlandse regels voor drinkwater- en huishoudelijke watervoorziening;
2. Het berekenen van de waterconsumptie in de Green Village, rekening houdend met waterbesparende maatregelen;
3. Het ontwikkelen van een afvalwatersysteem, rekening houdend met het onderscheid tussen grijs water en zwart water;

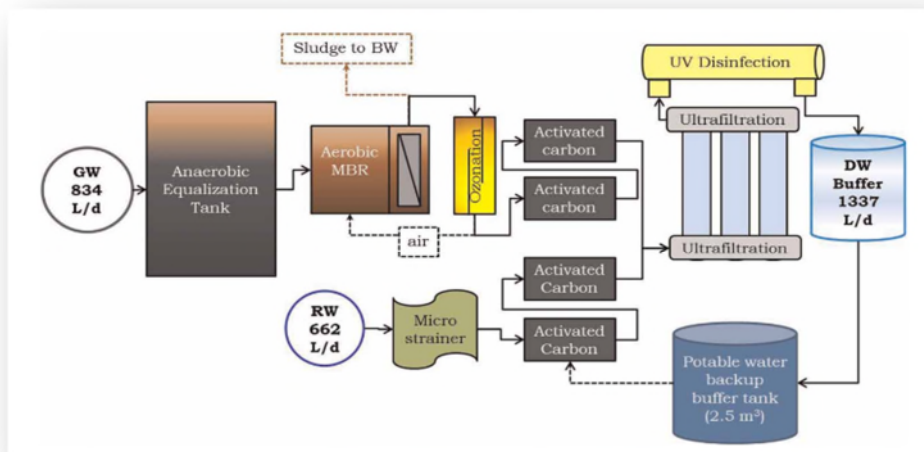
4. Het ontwikkelen van een waterbalans, waarin watervraag en -aanbod met elkaar in evenwicht zijn;
5. Het ontwikkelen van een integraal systeem, waarin productie, terugwinning en consumptie van water en energie met elkaar verbonden zijn.

Drinkwater

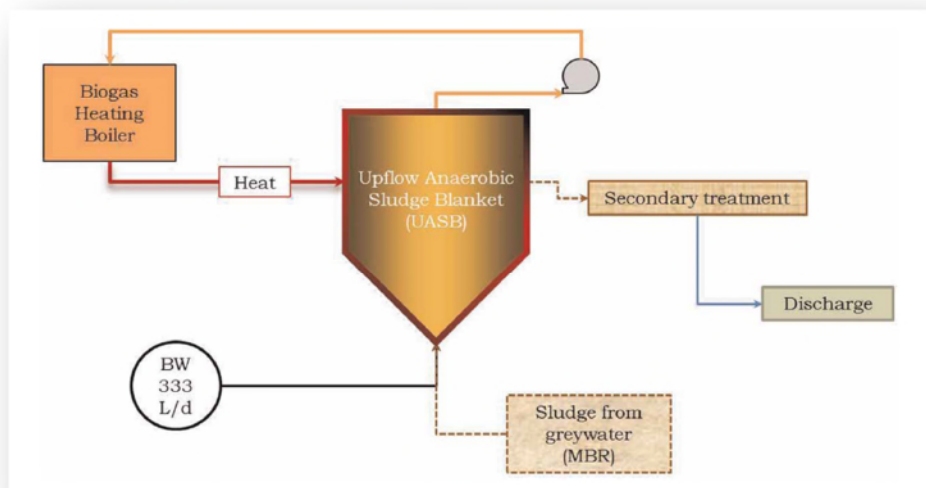
Drinkwater wordt deels geproduceerd uit regenwater en gezuiverd afvalwater. Na actiefkoolfiltratie vindt ultrafiltratie en UV-desinfectie plaats.

Afvalwater

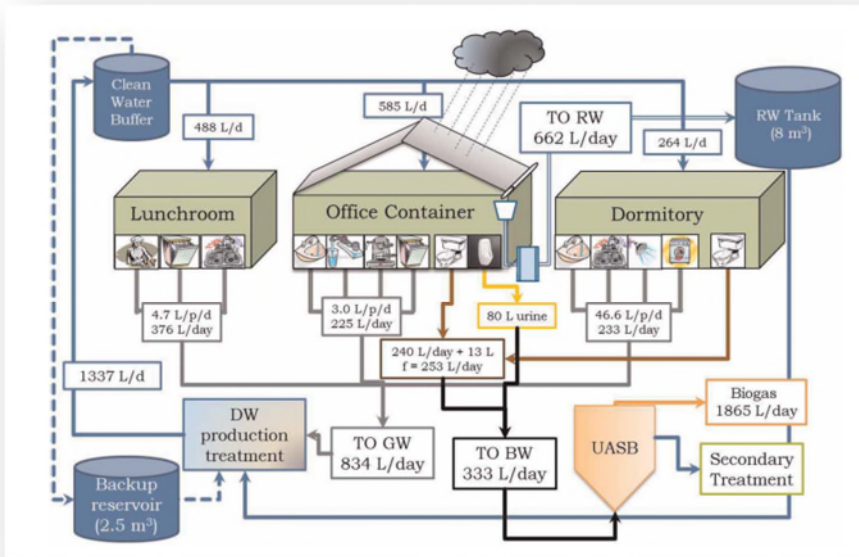
Grijswater wordt na een anaerobische behandeling gezuiverd in een membraan bioreactor. Daarna vindt ozonificatie plaats. Het slib wordt toegevoegd aan het zwartwaterslib. Zwart water wordt eerst gezuiverd in een UASB-reactor en daarna nagezuiverd in een helofytenfilter, waarna het op het oppervlaktewater wordt geloosd.



Figuur 7: Schema voor de productie van drinkwater. (GW=grijs water; BW = zwart water; RW = regenwater) (Van der Hoek, 2014)



Figuur 8: Schema voor de verwerking van zwart water (Van der Hoek, 2014)



Figuur 9: Stroomschema van het watergebruik (Van der Hoek, 2014)

3.8 Vergelijking

3.8.1 Betrokken partijen

Het initiatief voor de pilots op het gebied van decentrale watersystemen komt van verschillende kanten. Bij De Ceuvel en Aardehuis is duidelijk sprake van pioniers. Bewoners en ondernemers die op een andere manier met de water- energie- en grondstoffen om willen gaan. Bij Aardehuis is dat vooral gericht op de eigen bewoners en bezoekers/geïnteresseerden. Bij De Ceuvel is door de betrokkenheid van Metabolic, KWR en Waternet een bredere scope gekozen. Het is nadrukkelijk de bedoeling dat De Ceuvel ook als testomgeving functioneert.

De Wijk van Morgen en Green Village zijn beide geïnitieerd door onderwijsinstellingen, respectievelijk Hogeschool Zuyd en de TU Delft. Zij bieden een platform waar wetenschappers, studenten en bedrijven vervolgens kunnen samenwerken aan innovaties.

Waterschoon is het initiatief van een Woningbouwcorporatie en een Waterschap, waarmee de nadruk sterk op het proces van afvalwaterzuivering komt te liggen, maar wel met verbinding naar bijvoorbeeld energieopwekking.

Bij alle vijf de casus is er sprake van samenwerking tussen partijen die in het bestaande systeem hoofdzakelijk apart functioneren. De focus ligt op de verschillende functies binnen een kantoor of woning en niet op de afzonderlijke leveranciers van energie, water en grondstoffen of verwerkers van afval(water). Ook de inrichting van de gebouwen en de omgeving maakt onderdeel uit van het vraagstuk.

3.8.2 Motivatie

	De Ceuvel	Wijk van Morgen	Aardehuis	Waterschoon	Green Village
Duurzaamheid	●	●	●	●	●
Zelfvoorzienendheid	●	●	●		●
Experimenteren en Testen	●	●	●	●	●
Educatie		●	●		●
Sociale samenhang	●		●		

Duurzaamheid vormt de gemeenschappelijke motivatie van alle onderzochte casus. Het gaat in dit geval vooral om de beperking van de milieudruk van de woon- of kantoorfunctie. Het is in de meeste casus het streven om het milieu zo min mogelijk te belasten met afvalstoffen, en zo min mogelijk materialen en grondstoffen van buiten het systeem te gebruiken. Dat gaat verder dan alleen water. Energie, water en grondstoffen worden integraal benaderd.

Deze invulling van het begrip duurzaamheid heeft raakvlakken met een tweede belangrijke motivatie: zelfvoorzienendheid. Zelfvoorzienendheid heeft naast duurzaamheid ook andere componenten. In het geval van De Ceuvel en Aardehuis is dat een politiek-sociale: men wil niet afhankelijk zijn van machtige instituties, grondstofleveranciers uit verre landen of andere actoren waar men geen kennis van heeft of invloed op kan uitoefenen.

De initiatiefnemers noemen ook het experimenteren met en testen van nieuwe technologieën als belangrijke motivatie. Hoewel het bij Aardehuis niet nadrukkelijk genoemd wordt, is wel

duidelijk dat deze wijze van wonen een experiment op zichzelf is. Aardehuis en Waterschoon zijn in dit opzicht het meest statisch, er wordt één bepaalde configuratie van technologieën getest. Bij de andere drie casus is het de bedoeling om gedurende de looptijd te blijven experimenteren met nieuwe technologieën.

Educatie speelt met name een rol bij De Wijk van Morgen en Green Village, vanwege de betrokkenheid van onderwijsinstellingen. Aardehuis ontplooit zelf educatieve activiteiten om hun project bekendheid te geven en deels als inkomstenbron.

Bij De Ceuvel en Aardehuis, ten slotte, komt ook een duidelijke sociale component naar voren. De huurders van De Ceuvel en de bewoners van Aardehuis streven ernaar een duurzame gemeenschap te vormen.

3.8.3 Toegepaste technologieën op het gebied van water

	De Ceuvel	Wijk van Morgen	Aardehuis	Waterschoon	Green Village
Watervoorziening					
Duaal systeem		•			
Direct hergebruik van afvalwater		•			
Waterbesparende apparaten	•	•	•	•	•
Lokale grondwaterwinning			•		
Fit-for-purpose levering		•			
Point-of-use zuiveringssystemen	•	•	•		•
Afvalwater					
Gescheiden riolering	•	•	•	•	•
Kunstmatige moerassen (helofytenfilter)		•	•		•
Membraan bioreactor					•
Upflow Anaeriboc Sludge Blanket				•	•
Actiefkoolfilter					•
Ultrafiltratie					•
UV-straling	•	•			•
Vacuümtoiletten/-riolering		•		•	
Recycling/reuse					
Hemelwateropvang	•	•	•		
Grijswatersystemen	•	•			
Groene daken			•		
Gecombineerde regenwater- en grijswatersystemen					•
Composttoiletten	•	•	•		
Urinescheiding	•	•			•



3.8.4 Watervoorziening

Hoewel de meeste pilots de ambitie hebben in hun eigen drinkwater te voorzien, blijkt dat in de praktijk lastig. Alleen Aardehuis heeft een volledig eigen drinkwatervoorziening.

De meeste pilots gebruiken maar één kwaliteit water (drinkwaterkwaliteit). Alleen De Wijk van Morgen heeft een duaal systeem, waarbij zowel drinkwater als niet-drinkwater in de woning gebruikt wordt. In de praktijk zijn deze systemen echter niet gerealiseerd, waardoor er alleen van een centrale drinkwatervoorziening sprake is.

De andere pilots gebruiken alleen water van drinkwaterkwaliteit. Bij Green Village (wanneer gerealiseerd) is dat een combinatie van gezuiverd hemelwater en gezuiverd grijs water. Aardehuis maakt gebruik van gezuiverd grondwater. Waterschoon is aangesloten op het drinkwaterleidingnet. De Ceutel heeft ook een aansluiting, maar onderzoekt mogelijkheden voor het gebruik van gezuiverd hemelwater.

Green Village noemt de strenge wetgeving in Nederland als reden voor het niet gebruiken van een duaal systeem. Mogelijk speelt dat bij de andere projecten ook een rol. Bij Aardehuis geven de kosten van het aanleggen van een dubbel leidingstelsel de doorslag, aangezien met grondwater aan de gehele watervraag kan worden voldaan.

In alle projecten wordt gebruik gemaakt van waterbesparende apparaten, vooral in de vorm van no-flush, vacuüm of composttoiletten. Uit de resultaten van Waterschoon blijkt een reductie in het watergebruik van ongeveer 25%. De Green Village voorspelt een reductie van ruim 55%.

3.8.5 Afvalwater

In alle projecten wordt zwart water gescheiden van grijs water. Daarna vindt er zuivering of compostering van zwart water plaats, soms in combinatie met groente- en fruitafval. Bij Aardehuis en Waterschoon worden er stoffen teruggewonnen uit het zwarte water of wordt de compost als meststof gebruikt. Bij Green Village en de Wijk van Morgen is dat ook de bedoeling, maar is dat nog niet in de praktijk gerealiseerd. De Ceutel

Voor de afvoer van zwart water worden composttoiletten of vacuümtoiletten gebruikt. Bij De Ceutel, De Wijk van Morgen en De Green Village wordt urine apart ingezameld.

De Green Village en De Wijk van Morgen zijn de enige projecten waarbij gezuiverd grijs water opnieuw gebruikt gaat worden. Bij Green Village als drinkwaterkwaliteit, bij de Wijk van Morgen als niet-drinkwaterkwaliteit. Bij de overige projecten wordt grijswater, na zuivering, op het oppervlaktewater geloosd.

4 Perspectieven voor de Toekomst

4.1 Barrières en kansen

Hoewel decentrale drinkwaterproductie anno 2014 nog zeldzaam is in Nederland, kan dat in de toekomst veranderen. Dat is interessant voor waterbedrijven die de komende jaren investeringsbeslissingen moeten nemen met een zeer lange tijdshorizon (>50 jaar). In dit hoofdstuk schetsen we zowel de barrières als de kansen voor de bredere ontwikkeling van decentrale watertechnologie. Het gaat hierbij dus niet om kansen of barrières voor de waterbedrijven zelf.

4.1.1 Barrières

Volksgezondheid

De kern van onze huidige drinkwater- en afvalwaterinfrastructuur is het waarborgen van de volksgezondheid. Elke verbetering op het gebied van prijs, duurzaamheid of efficiëntie is vrijwel kansloos als dit tot (iets) hogere risico's voor de volksgezondheid leidt, of zelfs maar als zodanig gepercipieerd wordt.

Economische aspecten

De huidige wijze van drinkwaterproductie in Nederland is goedkoop, betrouwbaar en van hoge kwaliteit. Tenzij burgers in de toekomst andere criteria (zoals duurzaamheid en zelfvoorzienendheid) hoger waarderen, zal een decentraal systeem vergelijkbare prestaties moeten leveren. Op dit moment is er geen systeem bekend dat in de Nederlandse context met dezelfde betrouwbaarheid tegen dezelfde prijs, dezelfde kwaliteit water kan leveren.

Gedragsaspecten

De huidige wijze van drinkwaterproductie (en afvalwaterzuivering) is een dominante factor in de manier waarop onze interactie met water is vormgegeven. Onze huishoudelijke apparaten, de inrichting van onze badkamer, de werking van onze douches, toiletten en wasmachines zijn allemaal gebaseerd op een constante beschikbaarheid van hoge kwaliteit drinkwater in vrijwel ongelimiteerde mate. Zoals uit de onderzochte casus blijkt gaat de overstap naar een decentraal systeem altijd samen met een ander watergebruik. Het blijkt dat deze veranderingen niet altijd positief worden ervaren. Uit de evaluatie van het gebruik van composttoiletten en vacuümtoiletten blijkt dat geur en geluid als hinderlijk worden ervaren.

Drinkwaterproductie is niet de centrale kwestie

Decentrale drinkwaterproductie is onderdeel van een decentraal en zelfvoorzienend systeem, maar lijkt geen centrale kwestie te zijn daarin. Er zijn bijvoorbeeld geen gevallen waarin wél wordt gekozen voor decentrale drinkwaterproductie, maar níet voor decentrale afvalzuivering, grondstoffenwinning of energieproductie. Terwijl het omgekeerde wel het geval is. In Waterschoon kiest men bijvoorbeeld wel voor een eigen afvalwaterzuivering en grondstoffenwinning, maar niet voor een eigen drinkwaterproductie. Ook decentrale energieproductie wordt veelvuldig afzonderlijk toegepast.

In de industriesector is dat vergelijkbaar. Uit interviews komt naar voren dat industrieën zich eerder aansluiten op de centrale drinkwatervoorziening, dan dat ze zich van het centrale

systeem afkoppelen. Tenzij water uit eigen bron een centraal onderdeel is van de identiteit van het product (bijvoorbeeld bij bierbrouwers).

Onderzoek van de OECD naar de Water Governance in Nederland bevestigt dat beeld. De burger is zich niet bewust van de inrichting van onze watercyclus en de verantwoordelijkheden van de verschillende partijen daarin. Dat is een direct gevolg van de goede prestaties van het systeem op de voor burgers meest zichtbare en relevante criteria.

Infrastructuur

De huidige drinkwatervoorziening heeft een grote infrastructurele component die bovendien weinig flexibel is (zuiveringsinstallaties, pompgebouwen, ondergrondse leidingnetten). Bovendien werkt de infrastructuur van de drinkwatervoorziening (en afvalwaterzuivering) door in de ruimtelijke ordening en architectuur. Een goed voorbeeld daarvan is de inrichting van de moderne badkamer (of überhaupt het bestaan daarvan). In een artikel in de Britse krant *The Guardian* getiteld "Why the modern bathroom is a wasteful, unhealthy design" is de combinatie van functie in de modern badkamer (bad, douche, wastafel en toilet) alleen te verklaren vanuit het systeem van drinkwateraanvoer en afvalwaterafvoer. Die is volgens de schrijver daarin zo dominant, dat we genoeg nemen met een op het gebied van gezondheid en veiligheid suboptimaal ontwerp.

De relatieve inflexibiliteit van de drinkwaterinfrastructuur vormt ook een belemmering voor een *geleidelijke* transitie naar decentrale drinkwaterproductie. De kosten voor drinkwaterproductie bestaan bijna volledig uit vaste kosten. Afname van de productie leidt dus niet tot een kostenbesparing. Sterker nog, de kosten per m³ zullen in eerste instantie zelfs stijgen. Een gedeeltelijke eigen productie en een gedeeltelijke drinkwaterlevering door het drinkwaterbedrijf is dus niet opportuun. Dat verkleint kans op marktintroductie van decentrale productiesystemen aanzienlijk. Het is interessant te onderzoeken welke parallellen er bestaan tussen de watersector en de energiesector. In die laatste is er wel een opkomst van decentrale opwek gaande in combinatie met een centrale infrastructuur. Al heeft in Duitsland de introductie van nieuwe bronnen (wind en zon) al wel geleid tot onrendabele of zelfs stilgezette gas- en kolencentrales.

Regelgeving

Regelgeving leidt vaak (bedoeld of onbedoeld) tot een bestendiging van de status quo. De regels zijn ingericht op het functioneren van bestaande systemen en de systemen schikken zich naar de condities die regels stellen.

Een decentrale drinkwaterproductie (en afvalwaterzuivering) grijpt in op een aantal bestuurlijk domeinen die op dit moment nog gescheiden zijn. De kwaliteit van drinkwater is vastgelegd in zogenaamde VROM-normen (nu I&M), voor de lokale winning van grondwater gelden Provinciale normen en de Europese Kaderrichtlijn Water. De activiteiten die gepaard gaan met drinkwaterproductie en afvalwaterzuivering vallen onder de gemeentelijke bestemmingsplannen, het milieu- en bouwtoezicht en het landelijke Activiteitenbesluit milieubeheer. Interessant in dit verband is dat uit casus De Ceuvel blijkt dat het Activiteitenbesluit geen onderscheid maakt tussen activiteiten op industrieel niveau en decentraal niveau. Ten slotte is op de inrichtingen van woningen en kantoren nog het Bouwbesluit van toepassing. Sommige van deze wetgeving is gericht op bedrijven, andere op privé personen.

Uit de ervaringen van De Ceuvel blijkt dat verschillende instanties soms tegenstrijdige eisen opleggen (in dit geval de Omgevingsdienst Noordzeekanaaltoezicht en het Bouwbesluit). Het aanleggen van een dubbel leidingsysteem (drinkwater/niet-drinkwater) valt onder dusdanig

strengere regelgeving dat men bij Green Village Delft om die reden afziet van de toepassing daarvan.

Deze complexe interactie van regelgeving maakt het aanleggen van een decentraal watersysteem ook juridisch een lastige klus. Het is, om de parallel met de energiesector te trekken, niet een kwestie van een paar zonnepanelen op je dak leggen.

Het huidige systeem is geoptimaliseerd, nieuwe systemen zijn dat per definitie niet
Het huidige systeem van drinkwatervoorziening bestaat ruim 150 jaar. In die periode is het doorontwikkeld en geoptimaliseerd voor de Nederlandse situatie. Nieuwe systemen hebben dat voordeel niet. Daarom is er altijd sprake van de vergelijking tussen een geoptimaliseerd en een niet-geoptimaliseerd systeem. Voor optimalisatie in de Nederlandse context is bredere toepassing van systemen nodig, maar dat is om bovenstaande redenen lastig. Op andere plekken in de wereld worden decentrale systemen vaker toegepast, maar het is de vraag op optimalisatie in die condities aansluit bij de Nederlandse context.

Decentrale drinkwaterproductie (en afvalwaterzuivering) vereist veel meer maatwerk
De wijze van drinkwaterproductie is onder andere afhankelijk van de kwaliteit van de bron en de gewenste eindkwaliteit van het drinkwater. Verschillende waterbedrijven produceren drinkwater van verschillende samenstelling en afhankelijk van de bronkwaliteit kan het zuiveringsproces tussen productielocaties verschillen. De situatie voor afvalwaterzuivering is vergelijkbaar.

Bij decentrale drinkwaterproductie (en afvalwaterzuivering) zijn lokale omstandigheden veel bepalender. Zo kan de samenstelling van het afvalwater per woning verschillen, evenals het de watervraag en de gewenste waterkwaliteit. Verder is de variatie in bronnen groter en is er meer variatie over tijd in bronkwaliteit. Dat betekent dat bij de ontwikkeling van een decentrale watercyclus telkens opnieuw moet worden gekeken welke systemen in welke samenstelling het meest geschikt zijn.

4.1.2 Kansen en drijvende krachten

Ontwikkeling van de circulaire economie

In diverse sectoren wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van de circulaire economie. Het meest nadrukkelijk is deze visie neergelegd door Ellen MacArthur en de door haar opgerichte Ellen MacArthur Foundation. Deze visie wordt in eerste instantie gedreven door duurzaamheidsoverwegingen, maar slaat aan nu de wereld geconfronteerd wordt met grondstoffen- en energieschaarste. In een circulaire economie gaat het om het creëren van kringlopen waarin energie, water en grondstoffen zo efficiënt mogelijk worden benut. De kringlopen worden zoveel mogelijk gesloten waardoor afvalstoffen weer opnieuw als grondstoffen worden gebruikt en de in- en uitstroom uit het systeem minimaal is.

Drinkwater als bijproduct

Decentrale afvalwaterzuivering en decentrale energieproductie hebben op dit moment meer aandacht dan decentrale drinkwaterproductie. Ze spelen onder andere een rol in het realiseren van bovengenoemde *circulaire economie*. Drinkwater zou in de toekomst een bijproduct kunnen zijn van beide processen. In Green Village Delft wordt afvalwater al gebruikt als drinkwaterbron. Ook bij landbouwtoepassingen of energieproductie kan water als bijproduct geproduceerd worden. Bij de productie van elektriciteit in een waterstofcel komt bijvoorbeeld puur H₂O vrij dat als drinkwaterbron zou kunnen dienen, zij het in relatief kleine hoeveelheden.

Wens tot autarkie

Angst voor verre dictaturen, wantrouwen in instituties en de wens meer verantwoordelijkheid te nemen voor de eigen omgeving motiveert een groeiende groep mensen om zelf energie te produceren, lokaal geproduceerde producten te kopen, etc. Deze wens kan snel worden gevoed door internationale conflicten en problemen met bestaande systemen. Zoals we zien bij energieproductie kan die wens een vlucht nemen als die technisch en economisch ook binnen handbereik komt. Het gaat hierbij wel om een relatief kleine groep die niet overnacht zal groeien.

Doorontwikkeling technologie

Waterschaarste wordt gezien als een van de grootste vraagstukken van de 21^e eeuw. Er is wereldwijd grote belangstelling voor technologieën om drinkwater te produceren en afvalwater te zuiveren. Het is aannemelijk dat innovatie op dit gebied geïntensiveerd wordt en dat de komende decennia een groot aantal nieuwe technologieën geïntroduceerd zullen worden.

Positionering van de waterbedrijven

Het succes van decentrale drinkwaterproductie hangt ook af van de keuzes die de waterbedrijven maken met betrekking tot hun infrastructuur en hun toekomstige rol. Als waterbedrijven kiezen voor een infrastructuur die goed te combineren is met decentrale drinkwaterproductie vergroot dat de kansen voor die laatste. Ook het initiëren van nieuwe pilots of toepassing van reeds geteste technologieën op kleine schaal zal een positieve invloed hebben. Hiermee ontstaat, zoals zo vaak in een complex systeem, wel een positieve (of negatieve) feedback loop. Waterbedrijven zullen de ontwikkeling van decentrale productie alleen omarmen als zij die kansrijk achten; of die kansrijk is, hangt onder meer af van de mate waarin de waterbedrijven deze ontwikkeling omarmen.

4.2 What-if scenario

Het what-if-scenario schetst een toekomst waarin de omstandigheden voor decentrale drinkwaterproductie het gunstigst zijn. Een what-if-scenario dient niet als meest waarschijnlijke scenario, maar als meest impactrijke scenario. Dit what-if scenario maakt inzichtelijk welke factoren leiden tot een grootschalige introductie van decentrale drinkwaterproductie en welke gevolgen dat kan hebben voor de waterbedrijven.

4.2.1 Scenario: What Goes Around, Comes Around.

Na een langdurige crisis trekt in 2020 de Europese economie eindelijk weer aan. De Verenigde Staten waren al vijf jaar eerder aan het groeien en de BRIC-landen zijn nooit gestopt. De dreigende grondstoffen- en energieschaarste, die door de crisis even op de achtergrond is geraakt, is meteen weer actueel. De prijs van aardolie passeert al snel de \$200 per vat en ook de prijs van zeldzame aardmetalen gaat door het plafond. De Nederlandse aardgasvoorraad slinkt snel en vanwege het landelijke moratorium op het boren naar schaliegas moet Nederland op zoek naar alternatieve energiebronnen.

Tegelijkertijd worden de effecten van klimaatverandering in Nederland steeds merkbaarder. Extreme weersomstandigheden nemen toe en neerslagpatronen worden grilliger. Voor zover er nog twijfel was over klimaatverandering, ondervinden mensen het nu aan den lijve.

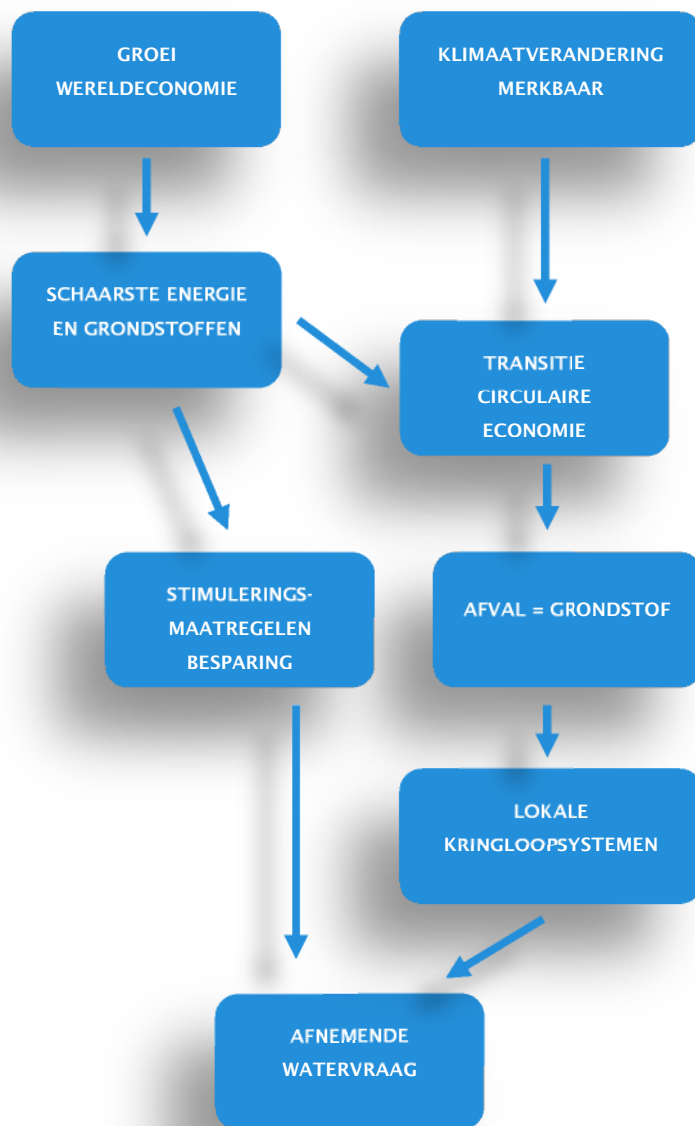
De toenemende schaarste aan energie en grondstoffen en de merkbare gevolgen van klimaatverandering werken als een katalysator voor transitie naar een duurzame economie. De principes van de circulaire economie, al bijna een decennia getest in pilots en demo's, blijken ineens breed toepasbaar. Er is maatschappelijk draagvlak en er is geld mee te verdienen! Tegelijkertijd neemt de ontwikkeling van duurzame, lokale energieopwekking een vlucht. Zonnecellen bereiken een ongekend hoog rendement en zelfs het kleinste beetje restwarmte kan worden opgeslagen of gebruikt.

Alle fysieke processen in de economie worden getoetst aan de kernprincipes van de circulaire economie: re-use, reduce, recycle. Afval bestaat niet meer, werkelijk alles wordt op een of andere manier weer als grondstof gebruikt. Fabrikanten nemen producten terug als ze opgebruikt zijn om de onderdelen opnieuw te gebruiken of de grondstoffen te verwerken tot nieuwe producten.

Burgers worden op alle mogelijke manieren gestimuleerd hun gedrag te veranderen. Naast allerlei economische prikkels, kunnen burgers hun duurzame prestaties ook wereldkundig maken via social media en op die manier aan hun reputatie bouwen. Het begrip *Nederlandse zuinigheid* krijgt een heel andere, en ditmaal positieve, betekenis.

Ook decentrale afvalwaterzuivering neemt een vlucht. Europese regels verplichten het gebruik van waterbesparende toiletten en aanpassing van belemmerende regelgeving maakt het eenvoudig om zelf afvalwater te zuiveren. Systemen die in 2015 alleen nog in pilots bestaan zien in 2025 massaal het levenslicht in eco-wijken. Maar ook in bestaande bouw worden alle mogelijkheden voor decentrale zuivering benut.

Dankzij het doortastende beleid van de overheid in het mogelijk maken van decentrale systemen, wordt Nederland een aantrekkelijke omgeving om nieuwe systemen te testen.



Figuur 10: Causaal model toekomstscenario

Vooraf Chinese en Indiase bedrijven staan klaar om in samenwerking met Nederlandse universiteiten en hogescholen hun innovaties te testen alvorens ze op grote schaal in de Aziatische metropolen uit te rollen.

Technologische ontwikkeling raakt in een stroomversnelling en de stedelijke omgeving wordt in hoog tempo getransformeerd. Functies worden zodanig gecombineerd dat een zo efficiënt mogelijke uitwisseling van grondstoffen, water en energie mogelijk is. Lokale variatie is groot, ieder systeem is aangepast aan de lokale omstandigheden, vraag en aanbod.

Water doorloopt een complexe en variabele keten waarin het door verschillend gebruik afwisselend 'vervuild' en 'gezuiverd' wordt. Geavanceerde sensoren controleren real time de waterkwaliteit en bij een overschrijding van de normen schakelt het systeem indien nodig automatisch over op een andere watervoorziening.

De vraag naar drinkwater uit het centrale systeem neemt op sommige plekken snel af. In sommige gevallen kunnen huishoudens volledig toe met een regenwatervoorziening, in andere gevallen winnen ze lokaal oppervlaktewater en slechts in een enkel geval is grondwaterwinning toegestaan. In de gevallen waarin nog een centrale drinkwatervoorziening gebruikt wordt, worden er slechts kleine hoeveelheden afgenomen.

De waterbedrijven hebben zich in de loop van de jaren ontwikkeld tot full service water-energy-cycle-bedrijven. Ze zijn expert op het gebied van systemen voor het beheer van de lokale watercyclus en de opwekking van duurzame energie. Ze adviseren over lokale toepassingen en implementeren en onderhouden de diverse systemen.

5 Discussie en conclusies

5.1 Discussie

Hoewel zowel in theorie als in de praktijk decentrale watertechnologie voordelen kan bieden voor zowel de eindgebruiker als het milieu, komt die in de praktijk nog maar zelden voorbij het niveau van een pilot of demonstratieproject. Dat kan te maken hebben met onderschatting van de complexiteit van sociale systemen, met onvoldoende bekendheid van waterprofessionals met innovatieve technologieën en onvoldoende belangstelling voor en begrip van burgers voor wat er zich achter de kraan afspeelt (awareness gap).

De beschreven casus bieden elk hun eigen visie op de manier waarop we in de toekomst met water omgaan. Het zijn min of meer experimentele omgevingen, waarbij De Ceuvel, Waterschoon en Aardehuis die nog het meest combineren met een praktische functie.

Er zijn weinig casus waarin drinkwater volledig decentraal wordt geproduceerd. Van de hier beschreven vijf casus is dat in slechts één het geval. Bij twee van de casus was ook daadwerkelijk een waterbedrijf betrokken (Waternet en WML) met name in een advies- en onderzoeksrol.

Het is dus niet mogelijk om een gedegen vergelijking te maken van de strategieën die de waterbedrijven kiezen ten opzichte van de ontwikkeling van decentrale drinkwaterproductie en op basis daarvan een *best respons* te identificeren.

Uit de analyse van de vijf casus valt niet af te leiden welke technologie voor decentrale drinkwaterproductie op dit moment geschikt is voor bredere toepassing in Nederland. Alleen van Waterschoon zijn gegevens beschikbaar over de prestaties van het systeem, maar dat betreft alleen afvalwaterzuivering. Bij De Ceuvel loopt het onderzoek naar de prestaties van de systemen nog en worden in 2015 resultaten verwacht. Ook de Wijk van Morgen en Aardehuis hebben nog geen evaluatieonderzoek beschikbaar.

Verandering van focus

De casus laten zien dat de toepassing van decentrale systemen gepaard gaat met een heel andere focus op water, energie en grondstoffen. Waar in de huidige context leveranciers van water, energie en grondstoffen 'voor de meter' blijven, gaat het bij de inrichting van decentrale systemen juist om wat er 'achter de meter' gebeurt. De focus verschuift van het *leveren van goederen* naar het *faciliteren van processen*. In het what-if-scenario komt die focus nog nadrukkelijker op processen te liggen. Daarbij speelt uitwisseling tussen verschillende systemen en het sluiten van kringlopen een belangrijke rol.

Nieuwe spelers

Hoewel de huidige spelers in de watersector in een aantal gevallen wel betrokken zijn bij de onderzochte casus, komt het initiatief van andere partijen. Daar zitten veel actoren bij die tot dusver weinig aandacht besteedden aan drinkwaterproductie of afvalwaterzuivering, zoals woningcorporaties, installateurs, architecten, landschapsarchitecten en IT-specialisten. Het betekent ook dat er, veel meer dan nu, rekening moet worden gehouden met uiteenlopende belangen, die ook nog sterk lokaal bepaald zijn.

Contextafhankelijke systemen

Waar centrale systemen een uniform product leveren onder uniforme condities, zijn decentrale systemen zeer contextafhankelijk. Hoewel er enige overlap bestaat in de gekozen systemen, verschillen de casus van elkaar op basis van de fysieke omgevingsfactoren, wensen van deelnemers, gedrag van deelnemers en functies die op het terrein plaatsvinden. De circulaire economie biedt een nog bredere context, waarbij de waterstromen geïntegreerd moeten worden met energie- en materiaalstromen.

Nieuwe beoordelingscriteria

Oorspronkelijk is de drinkwaterinfrastructuur ingericht aan de hand van de criteria betrouwbaarheid, kwaliteit en kosten. Vanuit de motivatie achter de onderzochte casus kunnen we daar minimaal drie criteria aan toevoegen: duurzaamheid (minimale milieudruk), zelfvoorzienendheid, solidariteit in lokale gemeenschappen. Het is de vraag hoe deze criteria uiteindelijk door de verschillende stakeholders worden gewogen, maar het is niet ondenkbaar dat de eisen die men stelt aan de watervoorziening op termijn veranderen.

5.2 Strategische opties voor waterbedrijven

Onderzoek die vormen van decentrale watertechnologie die op de lange termijn compatible zijn met de bestaande infrastructuur

De langetermijninvesteringen die in de drinkwaterinfrastructuur zijn gedaan renderen alleen als die infrastructuur voldoende gebruikt wordt. Decentrale watertechnologie vormt in potentie een concurrent van de bestaande infrastructuur. Maar zoals uit het onderzoek van Makropoulos en Butler en uit de casus Waterschoon blijkt, zijn er ook combinaties mogelijk van centrale en decentrale infrastructuur. Het is voor de waterbedrijven (en voor de samenleving als geheel) interessant als gezocht wordt naar een optimale balans tussen centraal en decentraal waarmee voorkomen wordt dat beide systemen elkaar beconcurreren er zo inefficiënties in het totale systeem ontstaan.

Ontwikkel een visie op decentrale drinkwaterproductie, de maatschappelijke rol van het waterbedrijf daarin, en draag die uit

Zoals uit onderzoek van de OECD blijkt is het grote publiek zich nog nauwelijks bewust van de werkelijkheid die achter de kraan schuilgaat. Waterbedrijven kunnen naast het informeren van burgers over het huidige systeem ook een visie ontwikkelen op alternatieve technologieën en die visie desgewenst richting hun klanten uitdragen. Daarmee stelt het drinkwaterbedrijf zich op als partner van burgers in het zoeken naar optimale wateroplossingen in plaats van 'slechts' de leverancier van drinkwater.

Onderzoek de mogelijkheden tot het leveren van maatwerk op basis van lokale vraag

In samenhang met het vorige punt kan het interessant zijn voor waterbedrijven of zij hun dienstverlening kunnen aanpassen aan de lokale vraag. Daarbij hoeft er nog niet direct sprake te zijn van drinkwaterproductie op huishouden- of wijkniveau, maar mogelijk zijn er andere manieren om in te gaan op de wens om een meer kleinschalige en lokale focus.

Wees transparant over de prestaties van het huidige systeem op milieudruk, zelfvoorzienendheid en solidariteit in lokale gemeenschappen

De eisen die mensen aan dienstverlening en producten stellen verandert in de loop van de tijd. Uit dit onderzoek komt een drietal criteria naar voren op basis waarvan men voor een ander systeem kiest dan het huidige. Dit terwijl het huidige systeem niet noodzakelijkerwijs slechter presteert op deze criteria. Om het draagvlak voor het huidige systeem te vergroten kunnen waterbedrijven openheid geven over hoe het huidige systeem scoort op deze

'nieuwe' criteria. Bijvoorbeeld: ten opzichte andere urbane gebieden (zoals Madrid) is de drinkwaterlevering voor de Randstad in Nederland behoorlijk decentraal geregeld.

Bouw voort op onderzoek naar de rol van (drink)water in de circulaire economie

De ontwikkeling van de circulaire economie geldt als belangrijke drijvende kracht voor de toepassing van decentrale watertechnologie. Echter, de circulaire economie bestaat in veel gevallen alleen nog als concept. Waterbedrijven kunnen een voorschot nemen op de ontwikkeling door zelf onderzoek te doen (en invulling te geven) aan de rol van (drink)water in de circulaire economie.

Ontwikkel meer kennis (theoretisch en praktisch) op het gebied van de hele watercyclus in relatie tot energie en grondstoffen

In de casus speelt de onderlinge relatie tussen water, energie en grondstoffen een belangrijke rol. Als de huidige trend doorzet zullen deze domeinen in de toekomst verder geïntegreerd raken. Burgers zullen in dat geval deze diensten ook in combinatie en samenhang willen afnemen, afhankelijk van hun individuele behoeften. Mogelijk ontstaat er op termijn zelfs behoefte aan een integraal nutsbedrijf in plaats van de huidige sectorale scheiding.

6 Referenties

Brown R.R., M.A. Farrelly (2009). Delivering Sustainable Urban Water Management: a Review of The Hurdles We Face.

Graaf, R.E., de (2011) Perspectives on Innovation: a Survey of the Dutch Urban Water Sector. *Urban Water Journal* 8(1): 1-12

Graaff, M. S., de (2010). Resource Recovery from Black Water. PhD Thesis, Sub-department of Environmental Technology, Wageningen University, Wageningen

Hegger, D. L., Van Vliet, J., & Van Vliet, B. J. (2007). Niche management and its contribution to regime change: the case of innovation in sanitation. *Technology Analysis & Strategic Management* 19(6), 729-746.

Kieboom, M. (2014). Lab Matters: Challenging the practice of social innovation laboratories. Amsterdam: Kennisland.

Makropoulos, C.K. and Butler, D. (2010). Distributed Water Infrastructure for Sustainable Communities. *Water Resource Management* 24: 2795-2816.

Metabolic (2014) Cleantech Playground Research Quarterly Report

Van der Hoek, J. P., Tenorio, J. L. I., Hellinga, C., van Lier, J. B., & van Wijk, A. J. M. (2014). Green Village Delft–integration of an autarkic water supply in a local sustainable energy system. *Journal of Water Reuse and Desalination* 04(3), 154-163.

Witteveen + Bos (2014) Evaluatie Nieuwe Sanitatie in de Wijk Noorderhoek, Sneek SK87-2/14-019.003

<http://www.dewijkvanmorgen.nl/>

<http://www.aardehuis.nl/nl/>

<http://www.thegreenvillage.org/>

<http://www.waterschoon.nl/>

<http://deceuv.nl/>