



De samenwerkende organisaties
in toegepast onderzoek

Versie 1

Circular Solutions

Part II. Valuing the Water Chain

February 2016

René Jurgens (TNO)
Wilfred Appelman (TNO)

Inhoudsopgave

<u>1</u>	<u>INLEIDING</u>	<u>1</u>
1.1	HET TO2 ADAPTIVE CIRCULAR CITY PROJECT	1
1.2	DUURZAAM WATERSYSTEMEN, CENTRALE OF DECENTRALE WATERBEHANDELING?	1
1.3	HET TNO WATERKETENMODEL	2
1.4	WATERNET EN CASE BUIKSLATERHAM	2
<u>2</u>	<u>CASE DUURZAAM WATERSYSTEEM BUIKSLATERHAM</u>	<u>3</u>
2.1	BEOOGDE ONTWIKKELING VOOR BUIKSLATERHAM	3
2.2	KENNISVRAGEN RONDOM ONTWIKKELING BUIKSLATERHAM	4
2.3	SCENARIOS VOOR EEN KOSTENEFFECTIEVE EN DUURZAME WATERVOORZIENING (TNO)	4
<u>3</u>	<u>RESULTATEN</u>	<u>7</u>
3.1	KOSTEN	7
3.2	ENERGIE	9
<u>4</u>	<u>CONCLUSIES</u>	<u>11</u>
<u>5</u>	<u>BIJLAGE, MEER OVER HET MODEL</u>	<u>12</u>
5.1	OPZET MODEL	12
5.2	OPGENOMEN COMPONENTEN	13
5.3	OPGENOMEN PROCESSEN	15
5.4	OPGENOMEN EN BEOOGDE FUNCTIONALITEITEN	16
5.5	GEHANTEERDE UITGANGSPUNTEN	16
5.6	BEREKENING WERKRUIMTES EN OMREKENING NAAR WONING EQUIVALENTEN	18
<u>6</u>	<u>BIJLAGE, HET AUTARKY GEBOUWCONCEPT</u>	<u>21</u>

1 Inleiding

1.1 Het TO2 Adaptive Circular city project

Dit deelrapport is opgesteld in het kader van het Project Adaptive Circular Cities', dat is opgesteld in het kader van de compensatiemiddelen die vanuit het Ministerie van Economische Zaken zijn vrijgemaakt om de samenwerking en synergie tussen de TO2 instituten Deltares, DLO Alterra, TNO en ECN te bevorderen. Doel van dit TO2 ACC project is bij te dragen aan een doorbraak in het kunnen nemen van cross-sectorale investeringsbeslissingen over concepten die tegelijkertijd zorgen voor klimaatadaptatie, klimaatmitigatie en voor resource efficiency in het stedelijk gebied.

Het doel voor dit onderdeel van werkpakket 2 is om een gezamenlijke propositie te ontwikkelen met betrekking tot het duurzaam inrichten van watersystemen en het komen tot waterketen sluiting , op zowel technisch en niet technische gebied. Eén van de onderzoeksvragen hierbij is hoe decentrale waterbehandeling zich verhoudt tot het huidige centraal geregelde en beheerde watersysteem.

1.2 Duurzaam watersystemen, centrale of decentrale waterbehandeling?

Water is een grondstof die vele gebruikers kent. In een afgebakend gebied zijn er veel gebruikersgroepen te noemen met verschillende gebruikersdoelen zoals huishoudelijk gebruik en/of gebruik voor industrie, landbouw en bedrijven. Door verwachte klimaatverandering wordt water schaarser, en door veranderende regelgeving worden er hogere eisen gesteld aan de effluent kwaliteit van een waterzuivering (EU 2000, Klein Tank, Lenderink (Eds.) 2009). Het zal dus steeds belangrijker worden om waterverbruik te verminderen en hergebruik te optimaliseren.

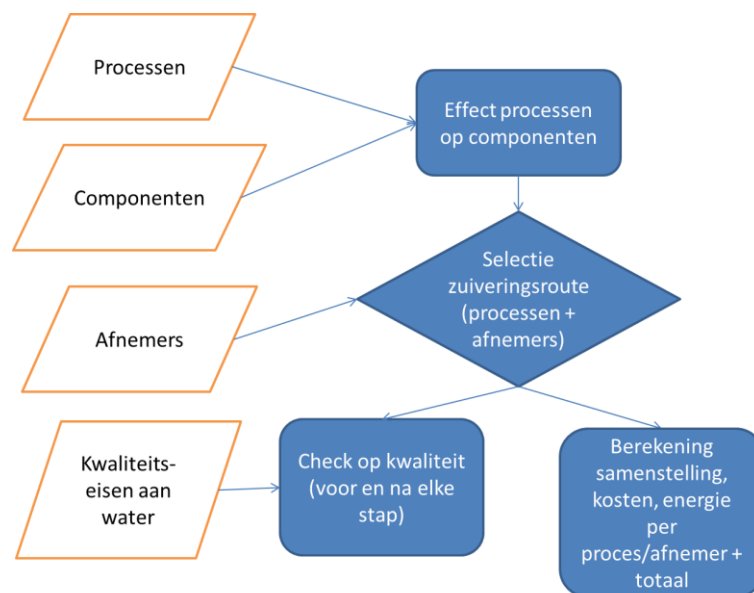
Op dit moment wordt water van allerlei kwaliteiten aangevoerd via rivieren, grondwater, neerslag en door drinkwaterproducenten. De zuivering van het op de riolering geloosde water gebeurt centraal bij waterzuiveringen, beheerd door waterschappen. Door de vele betrokkenen in de waterketen, is het echter lastig om te voorspellen wat de impact zal zijn van de implementatie van nieuwe waterbehandelings-technologieën (zoals op de waterkwantiteit en de waterkwaliteit van het groter geheel. Eén van de centrale vragen is daarbij ook of waterbehandeling centraal (drinkwaterproducent, RWZI) of decentraal moet worden opgepakt (waterketensluiting). Waterketensluiting met behulp van waterbehandelingstechnologie, waarbij afvalwater wordt omgezet in water geschikt voor nieuwe toepassingen kan , onder de juiste condities, voordelen bieden op het gebied van duurzaamheid, ecologie en kosten. Bij centrale behandeling wordt in de regel één, hoogste kwaliteit water bereid. Kosten van een steeds intensiever wordende zuivering, bijvoorbeeld vanwege de verwijdering van medicijnresten en gewasbeschermingsmiddelen uit de landbouw worden weer doorberekend aan een consument. Bij toepassing van decentrale behandeling kan per situatie de benodigde kwaliteit worden geproduceerd, die dan per toepassing hoger of lager kan liggen.

1.3 Het TNO Water-Ketenmodel

TNO heeft recent een model ontwikkeld waarbij vanuit een ketenbenadering gekeken wordt naar watersystemen. De gedachte hierbij is dat een decentrale waterbehandeling een substantiële bijdrage kan leveren in het vergroten van de duurzaamheid van water in een gebied/regio. Het model kan de effecten van een aanpassing in die keten voorspellen en biedt de mogelijkheid om diverse scenario's voor een gebied door te laten rekenen om zo de effecten van verschillende inrichtingen (bijv. 100% decentrale zuivering, centrale zuivering, of een mix van beiden) op de waterkwaliteit, kwantiteit, energieverbruik en kosten inzichtelijk te maken. Dit stelt waterbeheerders/eindgebruikers in staat om de waterketen zo duurzaam mogelijk in te richten en om te bepalen welke voordelen intern hergebruik, door middel van toepassing van decentrale zuiveringstechnologie, kan bieden. De verkregen resultaten kunnen dan worden gebruikt als een basis voor besluit- en beleidsvorming.

Het model is bij de ontwikkeling alleen nog gebruikt om een aantal scenario's voor een fictief gebied door te rekenen maar heeft hiermee wel zijn potentie laten zien.

Zie hieronder een schematische weergave van de werking van het model. In de bijlage wordt in detail ingegaan op de functionaliteiten en onderdelen van het model.



Figuur 1: Schematische weergave van opbouw/werking model aan de hand van de hoofdelementen: datatabellen, selectie zuiveringsroute, kwaliteit checks en berekening kosten, energieverbruik en waterinname/lozing

1.4 Waternet en case Buiksloterham

Bij het TO2 project heeft de toepassing van de kennis vanuit de TO2 instituten rondom concrete cases centraal gestaan. Bij werkpakket twee was dat in het bijzonder de situatie rondom de nieuw te ontwikkelen wijk Buiksloterham in Amsterdam met de verschillende actoren, in het bijzonder Waternet. In dit rapport worden daarom verschillende scenario's de ontwikkeling van het watersysteem voor Buiksloterham aangenomen en met het Water-Ketenmodel doorgerekend en bediscussieerd.

2 Case duurzaam watersysteem Buiksloterham

2.1 Beoogde ontwikkeling voor Buiksloterham

De Amsterdamse wijk Buiksloterham transformeert van een voormalig bedrijventerrein naar een nieuw woon- en werkgebied. Dit gebeurt in de komende tien jaar op een zo duurzaam mogelijke manier. Het te ontwikkelen gebied in Buiksloterham bedraagt zo'n 100 hectare (totale bruto plangebied), 52 hectare (netto plangebied). Het investeringsgebied waar de gemeente de ontwikkeling actief inzet beslaat 35 hectare, waarvan ca 4,6 hectare groen en ca 3,3 hectare kade en plein. In het gebied zullen circa 3.500 woningen worden gebouwd. Daarnaast wordt er nieuwe bedrijvigheid aangetrokken en een toename voorzien van van 3.000 naar ca. 10.000 arbeidsplaatsen. Naar verwachting wordt uiteindelijk ca 200.000 m2 kantooroppervlak gerealiseerd.

Waternet voert in opdracht van in opdracht het Waterschap Amstel, Gooi en Vecht en de gemeente Amsterdam het beheer over de waterketen (zuiveren afvalwater, maken drinkwater en houden het oppervlaktewater op peil en schoon). Waternet heeft de ambitie om klimaatneutraal te worden als maatschappelijke organisatie. Het gebied Buiksloterham is hierbij een leer- en testcase waarbij Waternet een belangrijke doelstelling voor zichzelf ziet in de ontwikkeling van dit gebied door het ontwikkelen van nieuwe sanitatie, ondersteunen van voorzieningen en randvoorwaarden om slimmer en milieuvriendelijker om te gaan met de zwart-, grijs en geelwaterstromen in het gebied en woningen.

Het uitgangspunt van Waternet is dat in Buiksloterham straks alleen nog maar drinkwater hoeft te worden geleverd. Door de inzet van nieuwe waterbehandelingstechnologie en sanitatietechnieken zal de watervraag beperkt worden. De huidige riolering in het gebied is verouderd, maar kan wellicht nog even gebruikt worden. Dit geeft ruimte om al wel te bouwen, waarbij later de woningbouw kan worden afgekoppeld van de riolering. In onderstaande figuur is een weergave van het gebied Buiksloterham weergegeven.



Figuur 2: Overzicht gebied Buiksloterham met de ca. 100 te ontwikkelen kavels.

2.2 Kennisvragen rondom ontwikkeling Buiksloterham

De kennisvraag van Waternet die als beheerder verantwoordelijk is voor het watersysteem in het gebied Buiksloterham is welke mogelijkheden zijn er voor een decentrale aanpak alsook wat worden dan de totale kosten (Total Cost of Ownership) van een dergelijke nieuwe decentrale sanitatie?

Andere vragen die gesteld zijn, maar niet in dit project en rapport konden worden beantwoord zijn*:

- Hoe flexibel en toekomstbestendig is de technologie? Rioleringen en woningen worden bijvoorbeeld voor een periode van ca. 60 jaar aangelegd. Een conventionele waterzuivering voor een periode van ca. 30 jaar. Hoe is dat voor nieuwe technologie?
- Welke niet technische aspecten maken een technologie meer of minder kansrijk? Uitgangspunt is behoud van comfort en veiligheid. Belangrijk om het risico op fouten bij installatie en onderhoud mee te nemen.
- Wat zijn eventuele andere voordelen van nieuwe sanitatietechnieken? Vacuumsystemen met kleinere leidingdiameter maken wellicht andere indelingen van woningen mogelijk?
- Welke kansen ontstaan er bij het benutten van kansen op het gebied van energie en water? Momenteel wordt vooral gekeken naar de chemische energie in het water (bijv. omzetting organisch naar energie door vergisting). Kansrijk lijkt ook het gebruik van de warmte-inhoud te zijn van grijs water.

*Verslag bijeenkomst ACC, 16 januari 2015 m.b.t. onderwerp water en circulaire steden/ breakoutsessie met Enna Klaversma (Innovatie team Waternet), Wim de Haas (Alterra WUR) en Wilfred Appelman(TNO.)

2.3 Scenario's voor een kosteneffectieve en duurzame watervoorziening (TNO)

Met behulp van het waterketenmodel zijn een aantal cases voor de case Buiksloterham doorgerekend. Hieronder worden de belangrijkste eigenschappen voor deze cases genoemd.

De scenario's worden op wijkniveau, dus op het niveau van Buiksloterham bekeken. Met infrastructuur (hoofdriolering, drinkwater aanvoer) buiten de wijk wordt geen rekening gehouden, aangezien deze op stadsniveau nodig zullen blijven als andere wijken centrale inname en zuivering blijven hanteren. De scenario's bekijken nu sec de omvang van waterinname, waterlozing, de kosten en energiebehoefte voor verschillende inrichtingen van de wijk zelf. Er wordt aangenomen dat in alle gevallen een zelfde capaciteit qua riolering binnen de wijk nodig zal zijn, aangezien bij zowel centrale als decentrale zuivering transport binnen de wijk nodig zal zijn.

1) Huidige situatie, centrale communale waterzuivering in Amsterdam West

Dit is de huidige bestaande situatie als referentie, er is reeds of er wordt een rioleringsstelsel aangelegd en onderhouden:

- A. Wateraanvoer: centraal geproduceerd drinkwater
- B. Waterafvoer: centraal via riolering en waterzuivering
- C. Waterhergebruik: geen
- D. Effect op overlast regenwater: geen

2) Biorefinery, vergisting 1700 ie

- A. Wateraanvoer: centraal geproduceerd drinkwater
- B. Waterafvoer: decentraal via biorefinery
- C. Waterhergebruik: geen
- D. Effect op overlast regenwater: geen

3) Decentraal Autarky*, decentraal op woning/blok niveau – doel: grof (eerste orde grootte), uitgevoerd voor zowel 1500 en 3000 woningen met maximaal hergebruik, als voor maximaal hergebruik in heel BSH (alle woningen + kantoren autarkisch)

- A. Wateraanvoer: decentraal geproduceerd drinkwater uit regenwater
- B. Waterbehandeling: regenwater -> drinkwater, grijswater -> her te gebruiken water
- C. Waterafvoer: enkel afvoer zwart water , overig water wordt hergebruikt
- D. Waterhergebruik: volledig
- E. Effect op overlast regenwater: nader te bepalen, regenwaterhoeveelheid wordt onttrokken aan belasting oppervlak.

*Autarky is de naam van een door TNO voorgesteld technologieconcept waarin voor gebouwen een volledig hergebruikstelsel zwart/geel en grijswater wordt ingezet.

Voor het bepalen van de uitgangspunten voor de scenario's is allereerst gebruik gemaakt van de verstrekte data over de ontwikkelingen van het aantal woningen en werkruimte in de tijd, zie hieronder. Deze data is afkomstig uit het kaveloverzicht voor Buiksloterham, zie ook hoofdstuk 3. Overige benodigde data is in samenwerking met Waternet verzameld en aannames met Waternet besproken.

In de scenario's is steeds gekeken naar de beoogde eindsituatie voor Buiksloterham.

Jaar	Ontwikkeling aantal woningen (*)	Ontwikkeling werkruimte (**)
t/m 2014	273	60.000 m ²
2015	1050	
2016	1130	
2017	1726	120.000 m ² (+60k)
2018	1813	
2019	2212	
2020	3369	180.000 m ² (+ 60k)
2021	3398	
2024	3621	

(*) o.b.v. kaveltkening; (**) 200.000 m² werkruimte, o.b.v.

<http://www.buiksloterhamenco.nl/nieuws/ondertekening-manifest-circulair-buiksloterham>, aanname: vergelijkbare ontwikkeling als voor woningen (ca 1/3-1/4 per 3 jaar)

Voor het bereiken van de doelen voor de verschillende scenario's zullen, naast de woningen en werkruimtes, diverse centrale/decentrale behandelingsprocessen nodig zijn. In de onderstaande tabel worden de details per scenario beschreven, zijnde:

- Aantal woningen en werkruimtes die in de verschillende periodes worden meegenomen.
- Toegepaste behandelingsprocessen
- Toegepaste waterbronnen

Onderdeel	Scenario 1: Huidige insteek met centrale RWZI	Scenario 2 Huidig + vergister/ biorefinery	Scenario 3: Inzet autarkische gebouwen
Centraal/decentraal	Centraal	Decentrale sanitatie met alternatieve verwerking + centrale aanpak voor overig	Geheel of deel autarkische woningen/kantoren + overige woningen/kantoren centrale aanvoer en zuivering
Opgenomen gebouwen	Woningen (3500)		Autarkische gebouwen (1500-3000 en 6500 woning-equivalenten)
	Werkruimtes (200.000 m2)	Werkruimtes (200.000 m2)	
	-	Vergister /biorefinery (1700 i.e., circa 500 woningen)	
	RWZI (omvang schaal mee)		
Waterbronnen	Leiding water	Leidingwater	Drinkwater uit regenwater Her te gebruiken water uit grijswater Leidingwater (ter compensatie voor lozing zwart water naar RWZI)
Afvoer	RZWI -> opp. water	RZWI -> opp. water Valorisatie nutriënten uit vergister Schoon water na vergister naar opp. water	RZWI -> opp. water Autarky -> (vrijwel) 100% hergebruik
Opgenomen behandelingsprocessen		Vergister	Decentrale sanitatie (vacuumtoiletten) UF + RO voor behandelen regenwater en grijswater

(*) Scenario 2-4 starten vanaf 2017, met oog op een bouwtijd van circa 1-2 jaar. Scenario 5 start ook in 2017, gezien de benodigde tijd voor het implementeren van nieuwe decentrale sanitatie in de bestaande woningen. Bij de nieuwe woningen kan dit direct meegenomen worden.

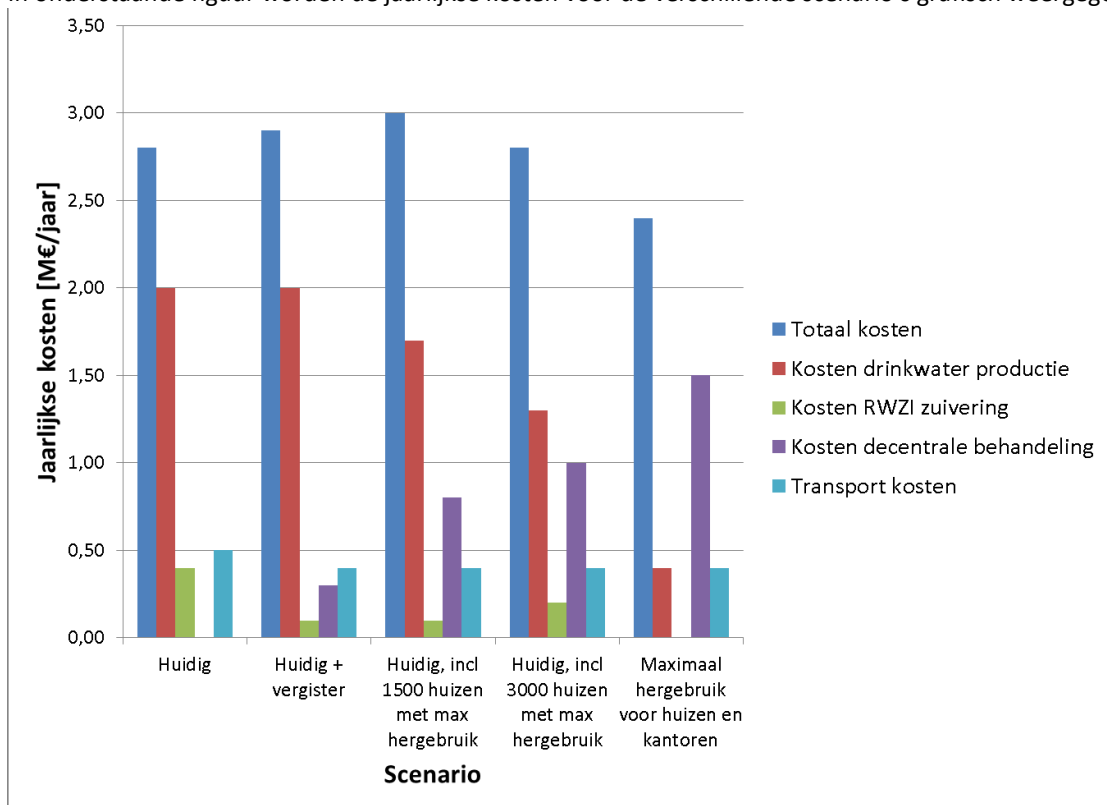
3 Resultaten

In de onderstaande paragrafen worden de resultaten voor de geëvalueerde cases onderling vergeleken. Middels het model zijn de kosten voor drinkwater productie, zuivering in een RZWI, water transport en voor decentrale zuivering bepaald. Daarnaast zijn de omvang van de diverse waterstromen en het energieverbruik berekend.

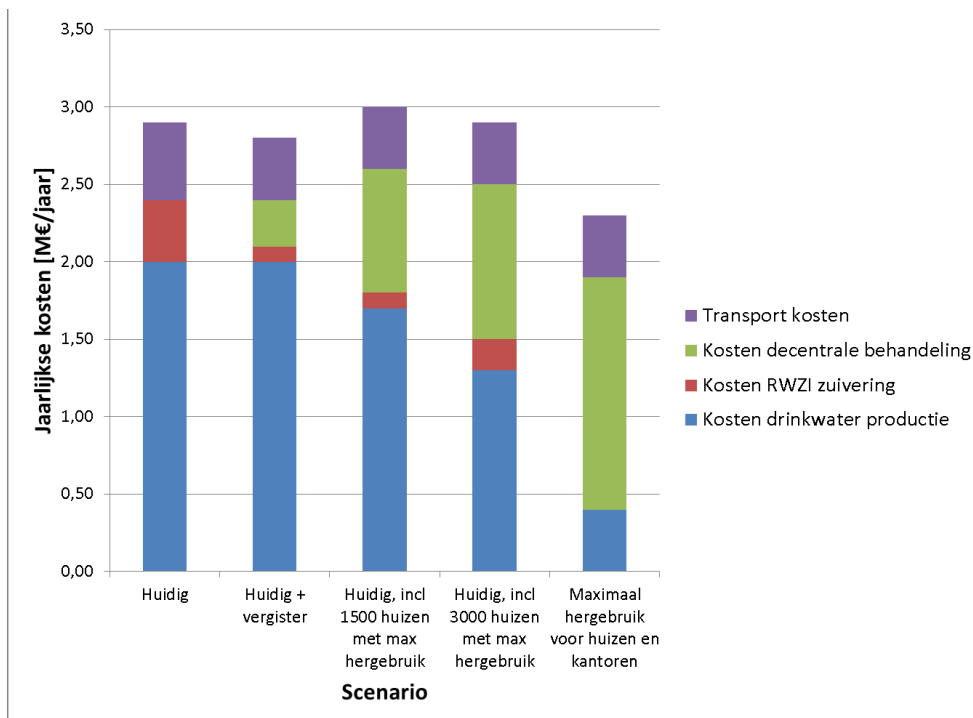
Ook bij decentrale productie van drinkwater en hergebruik van behandeld grijswater is er een kleine hoeveelheid drinkwater nodig, ter compensatie van het zwart water wat naar de RWZI wordt geloosd.

3.1 Kosten

In onderstaande figuur worden de jaarlijkse kosten voor de verschillende scenario's grafisch weergegeven.



Figuur 3: Kosten waterinname, lozing en productie voor de scenario's.

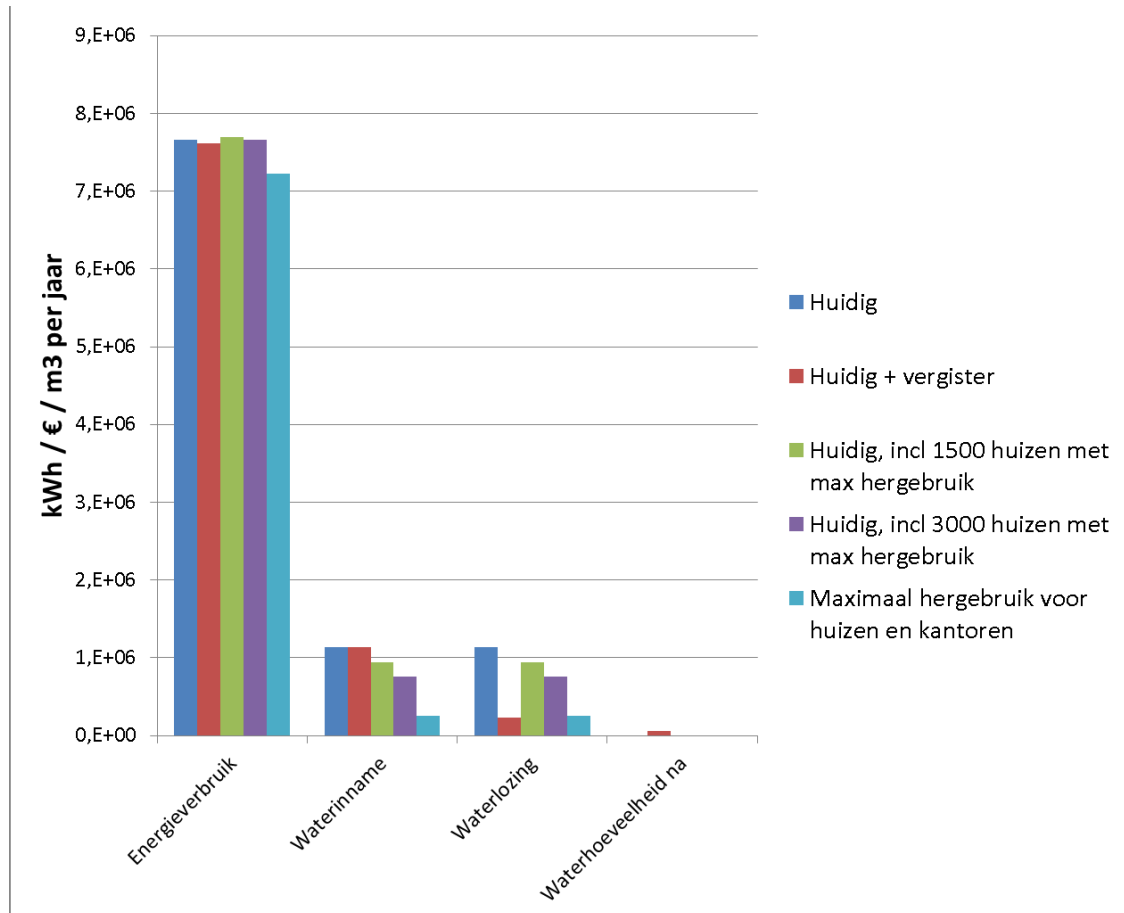


Figuur 4: Kosten waterinname, lozing en productie voor de scenario's.

Uit de resultaten in de figuren blijkt dat decentrale waterbehandeling voldoende schaalgrootte nodig heeft om de kosten van decentrale zuivering zo ver te laten zakken dat de meerkosten minder zijn dan centrale drinkwaterproductie. Drinkwaterproductie is duidelijk het duurst. De kosten voor de centrale zuivering, RWZI, zijn niet bepalend. Ook de transport kosten zijn voor de verschillende scenario's zo goed als gelijk. Er wordt hoe dan ook een riolering binnen Buiksloterham gebruikt (of voor centraal aanvoer/afvoer of voor intern hergebruik)

3.2 Energie

De volgende figuur laat het energieverbruik en de omvang van de waterstromen zien.



Figuur 5: Energiegebruik en waterinname, lozing en productie voor de scenario's.

In Tabel 3-1 zijn de waarden uit figuur 5 weergegeven. Ook wordt het behaalde waterhergebruik getoond.

Tabel 3-1 Energiegebruik en waterinname, lozing en productie voor de scenario's.

Case	Energieverbruik drinkwater productie	Energieverbruik RWZI	Energieverbruik decentrale zuivering	Water inname	Water lozing	Water hergebruik tov huidig	Opmerkingen
Eenheid	106 kWh/jr	106 kWh/jr	106 kWh/jr	m3/jaar	m3/jaar	m3/jaar	
Huidig	7,45	0,12	-	1.13	1.13	0	
Huidig + vergister	7,62	0,08	0 (zelf- voorzienend)	1.13	0,91		0,22 (water uit dunne fractie vergister)
Hergebruik voor 1500 woningen	6,72	0,085	1,26	0,94	0,94	17%	
Hergebruik voor 3000 woningen	5,0	0,068	2,51	0,75	0,75	34%	
Maximaal hergebruik	1,73	0,023	5,4	0,26	0,26	77%	

De resultaten laten zien dat het energieverbruik in alle scenario's vrijwel gelijk is. In de scenario's o.b.v. de huidige centrale watervoorziening en waterzuivering vormt de drinkwatervoorziening de grootste energieverbruiker (>95%). De rioolwaterzuivering kent een zeer beperkt energieverbruik omdat deze zijn eigen energievraag grotendeels kan dekken (Energiefabriek). In de hergebruik-scenario's is de energievraag van de drinkwatervoorziening aanzienlijk lager, deze daalt van circa 7,5 miljoen kWh/jaar naar 2,15 miljoen kWh/jaar. Deze afname wordt vrijwel geheel gecompenseerd door het energieverbruik voor de decentrale zuivering.

Groot voordeel van de decentrale zuivering is dat de waterinname en waterlozing sterk afneemt. Bij maximaal hergebruik (alle woningen/kantoren autarkisch) wordt een waterhergebruik van 77% behaald. Een 100% waterhergebruik wordt niet behaald omdat in alle gevallen het zwart water wel centraal gezuiverd wordt. De drinkwaterbehoefte kan naar verwachting wel volledig worden gedekt. De reeds aanwezige drinkwaterinfrastructuur is bij het maximaal hergebruik-scenario niet meer benodigd en hoeft dus ook niet op termijn vervangen te worden. Dit kan een sterk argument zijn om af te zien van afschrijving van deze infrastructuur en zo aanzienlijk kosten te besparen. Bij de overige hergebruikscenario's kan met een kleinere infrastructuur volstaan worden, dit kan ook kosten besparen.

De verminderde lozing richting RZWI betekent dat met de huidige infrastructuur aanzienlijk meer gedaan kan worden (bijv. inzet voor een groter gebied) of dat deze in de toekomst verkleind kan worden. Ook dit zal een duidelijke kostenbesparing opleveren.

Deze te behalen kostenbesparingen op de huidige infrastructuur (wegvallen vervangingskosten voor drinkwaterinfrastructuur en verlagen kosten voor RWZI's) zijn nog niet meegenomen in de hergebruik scenario's en zal dus een verdere verlaging van de kosten betekenen.

4 Conclusies

De conclusie van het onderzoek is dat het decentraal van water behandelen in het beoogde gebied alleen haalbaar is bij vergaand opschalen. Bij kleine schaal zijn membraantechnologieën als UF/RO per m³ duur maar bij grotere schaal worden deze beduidend goedkoper. Decentraal water zuiveren lijkt meest zinnig als het echt voor heel Buiksloterham gedaan wordt. Wel afhankelijk van gebruikte uitgangspunten. Deze prijzen zijn sterk aan fluctuaties onderhevig.

Het grote voordeel van decentrale waterbehandeling is echter dat er significante reducties zullen optreden van de hoeveelheden inname en lozing van water.

Het model is momenteel alleen op wijkniveau ingezet. Aangezien de bestaande hoofdriolering en drinkwater aanvoer beiden buiten de wijk liggen en voor de andere wijken nodig zullen blijven, zijn de kosten van deze infrastructuur niet meegenomen.

Kijkend naar Amsterdam in zijn geheel, geldt dat er nu nog grootschalige infrastructuur ligt voor productie van drinkwater en rioolwaterzuivering. Indien de decentrale aanpak over de jaren heen breed uitgerold wordt (langzaam maar zeker alle wijken naar decentraal), kan over een aantal decennia bij vervanging van de drinkwater/riool-infrastructuur voor een aanzienlijk kleinere infrastructuur gekozen worden of met dezelfde infrastructuur een veel groter gebied gedekt kunnen worden.. Dit zal met name de afschrijfkosten voor de gemeente zeer aanzienlijk verlagen. (wellicht ook geen grote lange leidingen vanuit Nieuwegein of Andijk nodig, er is dan hiervoor geen vervanging of afschrijving nodig).

5 Bijlage, meer over het model

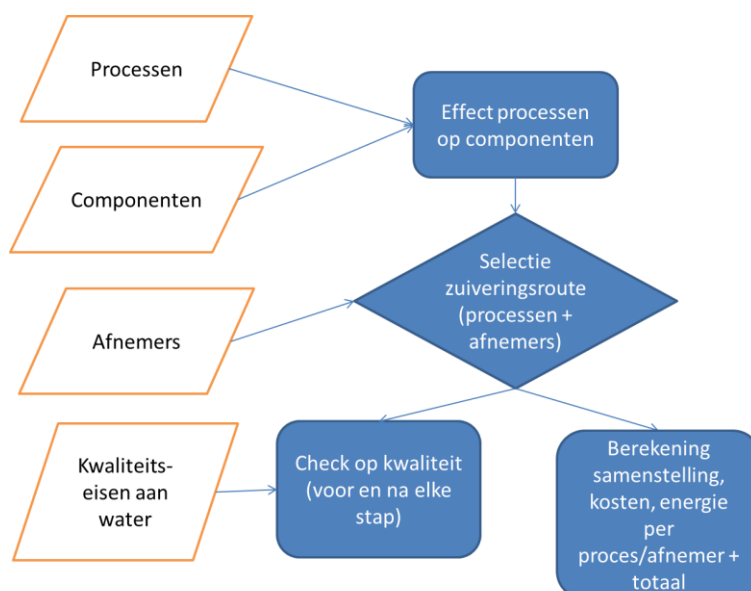
Het model bestaat uit een database in Microsoft Access waaraan datatabellen zijn toegevoegd en rekenregels die deze data gebruiken om de cases door te rekenen.

5.1 Opzet model

TNO heeft een model ontwikkeld waarmee de waterketen in een gebied kan worden gemodelleerd en waarmee de effecten (samenstelling/kwaliteit, kosten, energieverbruik) van aanpassingen in de waterketen kunnen worden voorspeld. Dit stelt waterbeheerders/eindgebruikers in staat om de waterketen zo duurzaam mogelijk in te richten en om te bepalen welke voordelen intern hergebruik, door middel van toepassing van decentrale zuiveringstechnologie, kan bieden.

Het model bestaat uit een database in Microsoft Access waaraan datatabellen zijn toegevoegd en rekenregels die deze data gebruiken om de cases door te rekenen. Het model is flexibel opgezet en maakt het zo mogelijk om een procesvolgorde naar keuze te definiëren en door te laten rekenen. De datatabellen zijn gevuld aan de hand van literatuurbronnen en de binnen de betrokken TNO afdelingen (WT, CAS, RAPID) aanwezige kennis en ervaring. Belangrijke voordelen van de database opzet zijn onder ander de mogelijkheid tot het werken met grote hoeveelheden data, het kunnen koppelen met diverse externe databases (bijv. GIS) en het naar wens kunnen genereren van overzichten.

De figuur geeft een versimpelde schematische weergave weer van de werking van het model. Ten behoeve van het bieden van een goed inzicht is gekozen voor de weergave van de hoofdelementen uit het model. In de onderstaande paragrafen wordt in detail ingegaan op de functionaliteiten en onderdelen van het model.



Figuur B1: Schematische weergave van opbouw/werking model aan de hand van de hoofdelementen: datatabellen, selectie zuiverings-route, kwaliteit checks en berekening kosten, energieverbruik en waterinname/lozing

5.2 Opgenomen componenten

In de huidige versie van het model zijn 28 componenten opgenomen die gebruikt worden om de samenstelling van de waterstromen en de veranderingen hierin te definiëren. Ook zijn 15 componenten opgenomen die gebruikt worden voor het bepalen van de kosten, watervraag/waterinname (incl. reststromen), watertransport en het voldoen aan (wettelijke) kwaliteitseisen. Per proces/afnemers is bekend wat het effect van deze stap is op de waarde van deze componenten (bijvoorbeeld een mate van verwijdering of kosten per m³). Extra componenten kunnen naar wens aan het model worden toegevoegd.

Tabel B1: overzicht van componenten die de waterkwaliteit definieert en het energieverbruik en kosten aangeeft.

Componenten	Eenheid	Gelinkt aan
Drinkwater echt nodig?	-	Water kwaliteit
Kwaliteitsklasse	-	Water kwaliteit
Biologisch zuurstofverbruik (BZV)	mg/l	Samenstelling
Chemische zuurstofverbruik (CZV)	mg/l	Samenstelling
Electrische geleidbaarheid	mS/cm	Samenstelling
pH	-	Samenstelling
Zware metalen	mg/l	Samenstelling
Hardheid	gr CaCO ₃ /m ³	Samenstelling
Temperatuur	°C	Samenstelling
Totaal zwevende deeltjes (TSS)	gr/m ³ SiO ₂ -eq	Samenstelling
Micro-organismen	kve/ml	Samenstelling
Gewasbeschermingsmiddelen	ug/l	Samenstelling
Na	mmol/l	Samenstelling
K	mmol/l	Samenstelling
NO ₃	mmol/l	Samenstelling
NH ₄	mmol/l	Samenstelling
HCO ₃	mmol/l	Samenstelling
P	mmol/l	Samenstelling
SO ₄	mmol/l	Samenstelling
Si	mmol/l	Samenstelling
Ca	mmol/l	Samenstelling
Mg	mmol/l	Samenstelling
Cl	mmol/l	Samenstelling
Energieverbruik	kWhe/m ³	Energie verbruik
Warmteverbruik	kWh _{th} /m ³	Energie verbruik
Kapitaallasten	€/m ³	Kosten
Operationele lasten	€/m ³	Kosten
Transportkosten	€/m ³ /km	Kosten
Vervangingskosten	€/m ²	Kosten
N _{tot}	mg/l	Samenstelling
P _{tot}	mg/l	Samenstelling
Waardevolle component	mg/l	Samenstelling
Pathogenen	kve/ml	Samenstelling
Legionella	kve/ml	Samenstelling
Kleur	-	Samenstelling
Turbiditeit	mg/l	Samenstelling
Kosten per stap	€	Kosten

Totale kosten	€	Kosten
Totale watervraag	m ³ /uur	Watervraag
Totale waterinname	m ³ /uur	Waterinname
Concentraat	m ³ /uur	Reststromen
Transportafstand	km	Transport
Afgekoppeld oppervlak	m ² /woning	Afkoppeling

5.3 Opgenomen processen

De onderstaande tabellen beschrijven respectievelijk de processen die in het huidige model zijn opgenomen en de beoogde toe te voegen processen op een later moment.

Tabel B2: Waterbehandelingsprocessen opgenomen in het model en interessant voor opnemen bij uitbreiding model (niet-limiterende lijst).

Systeem	In model	Interessant voor uitbreiding
Actief koolfiltratie	X	
Aerobe zuivering	X	
AOP (geavanceerde oxidatie UV + H ₂ O ₂)	X	
Bandpers		X
Bezinking		X
Biologische/chemische defosfatering		X
Centrifuge		X
Coagulatie/flocculatie	X	
De/nitrificatie		X
Droogprocessen/waterdamp terugwinning		X
Electro-coagulatie		X
Electrodialyse		X
Filtration Assisted Crystallization Technology (FACT)		X
Fotokatalytische oxidatie (FKO)		X
Ionenwisseling (IX)		X
Kaarsenfilter		X
Membraanbioreactor (MBR)		X
Membraandestillatie	X	
Microfiltratie	X	
Nanofiltratie	X	
Omgekeerde osmose (RO)	X	
Ontharding	X	
RWZI (eerdere generatie)	X	
RWZI (moderne variant)	X	
Transport	X	
Ultrafiltratie (UF)	X	
UV	X	
Waterbuffer (*)		X
Zandfilter		X

(*) Betreft een dynamisch proces, hiervoor is eerst implementatie van een tijdscomponent in het model benodigd. Informatie over de verwijderingspercentages, kosten en energieverbruik die gehanteerd zijn voor de opgenomen processen kan op verzoek verstrekt worden en is ook terug te vinden in de Access database.

5.4 Opgenomen en beoogde functionaliteiten

In de onderstaande tabellen wordt een overzicht gegeven van de huidige functionaliteiten van het model. Ook wordt een niet-limiterend overzicht gegeven van de beoogde nog in te bouwen functionaliteiten.

Tabel B3 Overzicht functionaliteiten in huidige model

Aspect	Opgenomen functionaliteiten
Berekenen effect processen en afnemers	Model berekent effect processen/afnemers op samenstelling, kosten, kwantiteit waterstromen en verdeling hiervan + energieverbruik. Effecten op samenstelling worden verwerkt als een % verwijdering/toevoeging t.o.v. het ingaande water.
Detailniveau output	Effect processen per stap, cumulatief in elke stap van de keten en voor de gehele keten inzichtelijk
Gebruikersvriendelijkheid	Te gebruiken processen en volgorde (schakeling) vrij instelbaar
Meerdere bronnen voor drinkwaterproductie instelbaar	In het model kan een selectie worden gemaakt welke waterbronnen ingezet worden voor drinkwaterproductie (oppervlaktewater, regenwater, hergebruikt water) (*)
Mogelijkheden model	Gebruik van meerdere waterbronnen in 1 proces (bijv. regenwater + oppervlaktewater voor drinkwaterproductie)
Ruimtelijke component	Afstanden (in de vorm van een proces "transport" tussen een proces en afnemer waarvoor de afstand en kosten/m ³ .km zijn opgenomen)
Transportkosten water	Transportkosten riool als functie van volume en afstand
Vergelijking cases	Verzameltabellen output (kosten, energie, water, knelpunten kwaliteit)
Visualisatie output	Koppeling met Excel tbv visualisatie output getallen
Voorwaarden aan waterkwaliteit vanuit wetgeving en processen	Check op waterkwaliteit voor en na de diverse processen en afnemers

(*) Indien drinkwaterproductie wordt toegepast, dit is geen verplicht element in het te simuleren systeem. Instellen van meerdere bronnen voor andere processen is in de huidige versie nog niet mogelijk.

5.5 Gehanteerde uitgangspunten

Tabel B4. Uitgangspunten

Aspect	Onderdeel	Bron gegevens	Opmerkingen
Drinkwaterbereiding	Processen	Pdf "van duinwater tot kraanwater"	Toegestuurd door Gijs (aan WA + RJ) in mail 1-12-2015
	Kosten	Data in waterketenmodel (Access)	
	Benodigde volumes	Optelsom van gewenste debieten voor afnemers	
Water afnemers	Kosten	Obv data in model	
	Omrekening werkruimtes naar woningen	Zie onder deze tabel	
	Water-verbruiken	Obv data uit model (0,0208 m3/uur voor woning)	
	Debieten grijs en zwart water	Obv data uit model (0,016 m3/uur grijs, 0,005 m3/uur zwart)	
	Regenwater gebruik	Obv gemiddelde regenval (840 mm/m2/jaar) en 10 m2 benutbaar oppervlak per woning (of woning-equivalent in geval van werkruimtes)	Aanname: geen meerkosten voor afkoppeling, aangezien dat bij bouwen woning

Aspect	Onderdeel	Bron gegevens	Opmerkingen
			meegenomen wordt
Transport	Investering drinkwater-leiding	3,7 km * 500 mm buis á 800 €/m3	3,7 km = haarlemmerweg tot buiksloterham (*) (rest drinkwater leiding ligt er al)
	Investering riool BSH	Obv snelraming BSH (alle riolering tot aan gemaal) (overige riolering ligt er al, hoeft niet meegerekend te worden)	Toegestuurd door Gijs (aan WA + RJ) in mail 1-12-2015
	Operationele kosten transport	Obv Kwh/inwoner gegevens uit: http://www.stowa.nl/Upload/publicaties/S_TOWA%202009%2046%20LR.pdf inwoners: 3500 woningen * 3 personen per huishouden 0,08 €/kwh gehanteerd Obv huidig inname volume	Bij andere scenario's is aantal m3 anders, maar kosten per jaar blijven hetzelfde. Daarom schaling toegepast obv €/jr gedeeld door €/m3
	Dekking kosten vanuit heffingen	Aanname = 60% kosten (kapitaallasten + operationeel) gedekt door heffingen, 40% moet opgebracht worden door Waternet	
	Rente voet, onderhoud en afschrijving	Resp. 3%, 1% en een afschrijftermijn van 50 jaar	
Aspect	Onderdeel	Bron gegevens	Opmerkingen
Kosten RWZI	Kosten per IE	Vergelijkingsrapport aa en maas (geeft gemiddelde prijzen voor zuivering en transport) Resultaat: 34 €/IE waarvan 18€/IE voor zuivering	RWZI staat er al, overal zelfde prijs voor zuivering per IE gehanteerd (er wordt meer of minder vanuit BSH naar bestaande RWZI geleid)
	Berekening ingaand IE	3 IE per woning -> Aantal woningen * 3 = ingaan IE Bij hergebruik wordt het aantal woningen gecorrigeerd ahv hergebruikspercentage (bijv 75% hergebruik betekent 25% * aantal woningen *3 voor bepaling IE)	
Kosten processen	Vergister	ca 1 €/m3 (aanname) Energieverbruik = 0 (dekt eigen verbruik) Opbrengsten evt. producten = om niet (0)	
	Nieuwe sanitatie	Meerkosten o.b.v. http://www.stowa.nl/upload/publicaties/S_TOWA%202013%2026_LR%20Def%206%20dec.pdf (exclusief apparatuur voor groen-afval afhandeling) Kapitaallasten o.b.v. rente (3%), onderhoud (1%) en afschrijving in 25 jaar Operationele lasten o.b.v. energieverbruik tbv vacuumstation = 13 kWh/woning	
	UF/RO	RO prijzen o.b.v. businesscase rekensheet Glastuinbouw Waterproof, steeds gekeken naar schaalgrootte en bijbehorende €/m3 en kWh/m€ 1500 woningen = capex 1,14 €/m3, opex = 0,25 €/m3	UF/RO geven samen voldoende verwijdering om herbruikbaar water op te leveren Enkel RO voor drinkwater

Aspect	Onderdeel	Bron gegevens	Opmerkingen
		3000 woningen = capex 0,64 €/m ³ , opex = 0,19 €/m ³ 6500 (max) = capex 0,42 €/m ³ , opex = 0,15 €/m ³ UF (voorbehandeling RO) als even duur als RO gesteld (membranen schelen weinig in prijs, installatie goedkoper, marge ingezet t.b.v. voorbehandeling UF)	uit regenwater, UF + RO voor grijswater hergebruik
	Autarkisch gebouw	Kosten o.b.v. prijs voor nieuwe sanitatie en UF/RO	
Zwart water	Gekozen aanpak bij hergebruik	Drinkwater uit regen water Her te gebruiken water uit grijs water zwart water lozing richting RZWI	
Operationele uren per jaar		8000	

(*) Waternet pompt het water dat uit de duinen komt naar de Haarlemmerweg van waaruit het verspreid wordt binnen Amsterdam

5.6 Berekening werkruimtes en omrekening naar woning equivalenten

[http://www.infodwi.nl/uploadedFiles/Infodwi/05 -
Voorwaarden normen en uitwerking/WB%202.1%20B%20okt%202011.pdf](http://www.infodwi.nl/uploadedFiles/Infodwi/05-_Voorwaarden_normen_en_uitwerking/WB%202.1%20B%20okt%202011.pdf)
20 liter /dag per werknemer in een kantoor

<http://www.ergonomiesite.be/arbeid/kantoorruimte.htm>
Oppervlak per werknemer = ca 5 m² (situatie met beeldscherm)

Resultaat

1 m² = 1/5 werknemer = 4 liter dag

200.000 m² = 800.000 liter per dag = 66 m³/uur (o.b.v. 12 uur) = 3300 woningen (0,0208 m³/uur per woning)

Tabel B5: Beoogde functionaliteiten voor toevoeging binnen vervolgprojecten

Aspect	Beoogde functionaliteiten (toevoeging binnen vervolgprojecten)
Inzet waterstroom voor meerdere processen/afnemers tegelijk (parallele schakeling)	Mogelijk maken van parallele schakeling (bijv. effluent van een proces of afnemer gebruiken als input voor meerdere processen + mogelijkheid tot bundeling van uitgaande stromen)
Afkoppeling	Hoeveelheid af te koppelen regenwater automatisch berekenen aan de hand van afkoppelbaar oppervlak en regenval
Bereken effect afnemers	Omzetten vaste waarden van effluents naar een effect op de samenstelling van het ingaande water (een stad voegt bijvoorbeeld een bepaalde hoeveelheid COD aan het water toe i.p.v. dat deze ongeacht de waterbron altijd hetzelfde effluent levert)
Detailering processen	Voorbeeld: uitsplitsen RWZI naar subprocessen, toevoeging hulpstoffen
Effect schaalgrootte	Inbouwen effect schaalgrootte op de kosten en energieverbruik van processen
Energie inhoud stromen	Warmte inhoud, mogelijke biogasproductie dus chemische en thermische energie inhoud
Fouling/scaling	Invloed watersamenstelling op vervuiling en/of neerslag in processen en op kosten en energieverbruik
Inhoudelijke uitbreiding	Toevoeging extra componenten, processen en afnemers (zie 5.1), incl. uitbreiding met bijbehorende data Verder uitbreiding/optimalisatie van invulsheets en keuzemogelijkheden
Uitbreiden terugkoppeling m.b.t. knelpunten kwaliteit	De uitkomst van de kwaliteit checks geeft nu slechts 'In orde/voldoen niet' Dit kan aangevuld worden met een percentage t.o.v. % bovengrens waarde, zodat duidelijk is of een component dicht bij de grenswaarde zit of niet.
Jaarlijkse variaties	Tijdseffect in beschikbaarheid inbouwen (d.w.z. uitsplitsen data naar weken/maanden)
Kosten/baten valorisatie reststromen	afvoer opties + kosten/baten (bijv. valorisatie concentraten)
Kosten/baten verdeling stakeholders	kosten/baten per partij (bijv. kosten voor drinkwater inname, lozingsheffingen)
Monitoring en control	Monitoring en control + bijbehorende kosten
Natuurlijk verlies aan water	Verdamping en andere verliezen water (RZWI, glastuinbouw, etc.)
Natuurlijke instroom van water	Regenval op onbebouwd gebied
Overzicht knelpunten kwaliteit of Beheersing waterkwaliteit	Verzameltabel waarin de uitkomsten van de waterkwaliteitschecks zijn te vinden (t.b.v. inventariseren knelpunten per stap en geschiktheid water voor de diverse toepassingen) Beheersen van waterkwaliteit op basis van risico-inventarisatie door o.a. te nemen maatregelen.
Overzicht verloop samenstelling in waterketen	Verzameltabel waarin de waarden voor de componenten voor alle stappen gezamenlijk te zien zijn
Ruimtelijke component	Uitbreiding implementatie afstanden in model (tussen alle processen en afnemers) Koppeling met GIS-databases mogelijk maken
Vervangingskosten + return of interest (ROI)	Inschatting kosten benodigd voor implementatie decentrale zuiveringstechnologie, kosten voor vervanging centraal door decentraal of de sloop van centraal + termijn benodigd om deze kosten terug te verdienen
Waterbuffering	Toevoeging waterberging
	Het model gaat uit van vaste parameters. Voor het vaststellen van een veilige zuivering, moet er rekening gehouden worden met variaties. Hoe ga je daarmee om? En hoe belangrijk is het? Er zou

	<p>iets als een gevoeligheidsanalyse t.o.v. een veiligheidsmarge moeten worden ingebouwd. Bv er mag maar max 1/ 100000x een overschrijding zijn van het aantal e coli, terwijl die meestal een vaste waarde is maar 1x per jaar een 100x zo grote influent concentratie heeft (random getallen als voorbeeld). Dit is proces afhankelijk want bij eg UV heb je een log 7 reductie, terwijl je bij RO altijd max 1E-10 doorlaat, ongeacht de ingaande concentratie.</p>
--	--

6 Bijlage, het Autarky gebouwconcept

Concept and approach

TNO proposes to demonstrate a first application of a unique and innovative self-sufficient water concept for the urban environment at real scale in a hotel, that has about 50 rooms or more, a pool, restaurant, laundry and a greenhouse to grow ornamental plants and part of its own food. This hotel will be an outstanding demonstration location for the full scale first application, implementation and further development of innovative technologies in the urban environment. These technologies have to demonstrate water saving measures and water re-use, but still need to consolidate full comfort and safety for and acceptance by users. This first application in an actual hotel setting aims at being water independent with an integrated approach focusing on water self-sufficiency, a high energy independence using sustainable energy and waste heat and resource recovery.

The following approach is used within the AUTARKY concept:

- Rainwater is captured on the roof of the hotel and prepared as drinking water. This is then used for several applications such as tap water, showering, cooking and laundry.
- For the shower, also an internal re-use option is applied to allow maximum re-use of water and energy.
- After use, this water (grey water) will be treated for re-use in the pool or toilets. Water-saving vacuum toilets will be used to collect faeces and urine, consuming only about 1 L per flushing occasion.
- After mixing the toilet waste with kitchen/food waste, it is treated anaerobically such that energy can be recovered. The effluent is treated further and nutrients are recovered for re-use in the greenhouse.
- The concept entails full re-use of all streams (e.g. also pool water and greenhouse rainwater) while the treatment of the aforementioned streams is demonstrated to show the feasibility of (part of) the water autarkic concept in an urban environment.
- The quality and safety of the water treated will be assessed and controlled by following a scientific and systematic HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point)-based approach.

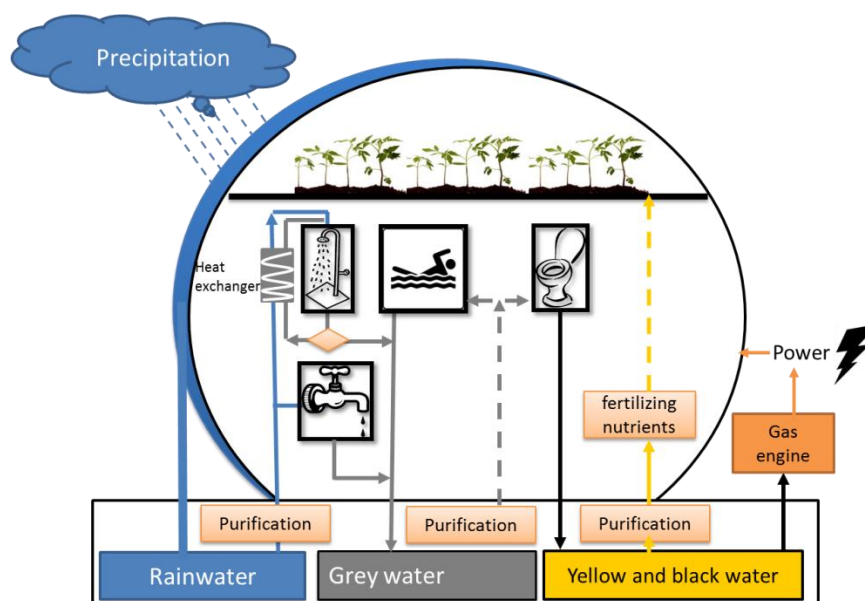
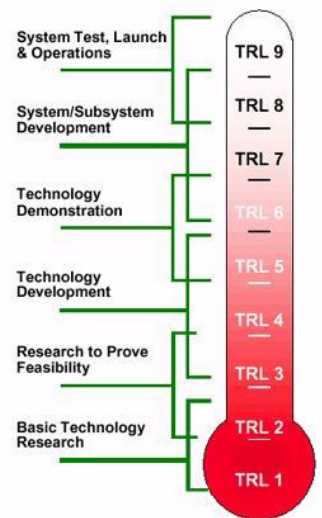


Figure B6.1: AUTARKY water re-use conceptual approach as first application in a hotel environment

This Autarky concept is realized by application (demonstration and research) of the following technologies, see table below:

Table B6.1 Overview of technologies per application

Application	Technology	TRL level
Rainwater to drinking water	• Membrane distillation	5-6
	• Disinfection and monitoring technology	9
Shower water re-use	• - Sustainable and pathogen free shower re-use system	6
Grey water re-use	• Grey Water Recycling System: multiple membrane barrier process (ultrafiltration followed by 2 reverse osmosis)	6-7
Energy recovery black water	• Anaerobic MBR enhanced with - oxidation treatment (Peroxite) of drain	6-7
		5-6
Resource-efficient nutrient management from black water	• Phosphorus and nitrogen recovery with struvite	8-9
	• Energy-minimal polishing of residual nitrogen and organic carbon with Post-treatment	7
Swimming pool disinfection	• On-site production of peroxides for disinfection	7-8



Demonstration of the AUTARKY concept will prove that by adapting water treatment technologies from Space Engineering applications and Process Industries, the urban environment can be made self-sustaining for the provision of safe and hygienic water. The demonstration of technologies for water cycle closure will contribute to the circular economy and the efficient use of resources and the guarantee for the availability of resources for future generations. Next to safeguarding water resources, the AUTARKY concept will also reuse nutrients thereby contributing to an increasing resource efficiency for nutrients and energy as well. In addition, energy in waste water will be recovered. Overall the project aims to design an autarkic water system that is as most efficient in energy consumption as technically feasible.