

Circulariteit in het watersysteem

Water is een van de vier belangrijke grondstoffen benodigd voor leven en voor menselijke activiteiten. In principe is water in overvloed aanwezig op onze planeet; immers, ongeveer 70% van het aardoppervlak is bedekt met water. Echter, de hoeveelheid zoet (drink)water, geschikt voor consumptie en voor voedselproductie, is beperkt¹. Momenteel is sprake van een enorme groei van de wereldbevolking. De verwachting is dat in 2030 de wereldbevolking gegroeid is tot bijna 9 miljard komende van ruwweg 3 miljard in 1960 [2]. Al deze mensen hebben water nodig om te kunnen leven.

M. (Martin) Tenpierik¹, S. (Suzanne) van Dijk¹, P. (Peter) Luscure^{1,2}, S. (Sabine) Jansen¹, B. (Bob) Geldermans¹

1. TU Delft, Faculteit Bouwkunde, sectie Climate Design

2. Inspired Ambitions

Klimaatverandering kan ook grote gevolgen hebben voor onze drinkwatervoorziening. Effecten hiervan zullen in Nederland vooral zichtbaar zijn onder extreme weersomstandigheden zoals droge zomers. Volgens twee van de vier klimaatscenario's van het KNMI uit 2014 zullen droge zomers steeds vaker voorkomen [3]. Op basis van deze klimaatscenario's voorspelt het KNMI voor Nederland in 2050 en 2085 in het algemeen dat:

- de zeespiegel blijft stijgen;
- de hoeveelheid neerslag (waaronder extreme neerslag) in de winter toeneemt;
- de intensiteit van extreme neerslag in de zomer toeneemt maar dat in twee van de vier scenario's zomers in het algemeen droger worden;
- de gemiddelde temperatuur stijgt.

Rense [4] identificeert drie mogelijke gevolgen hiervan voor de drinkwatervoorziening in Nederland:

- 'verslechtering van de kwaliteit van het oppervlaktewater';
- 'toename van de verzilting van grond- en oppervlaktewater';

- 'verhoging van de watertemperatuur'.

Deze drie gevolgen zullen effecten hebben op de manier waarop ons drinkwater bereid wordt. Slechte waterkwaliteit wordt ook in het Manifest Klimaatbestendige Stad [5] als toekomstig probleem aangemerkt². Om dergelijke gevolgen te minimaliseren en om ook in de toekomst over voldoende schoon drinkwater te kunnen beschikken is het van belang om ons drinkwatersysteem duurzaam in te richten.

Een van de middelen daarbij is circulariteit.

■ DUURZAAM SYSTEEM

Om te komen tot een duurzaam systeem voor de drinkwatervoorziening en de afvoer van vervuild water geven Lühti et al. [6] in het algemeen aan dat aan de volgende criteria moet worden voldaan:

- het systeem moet hygiënisch zijn;

- het systeem moet functioneel zijn en eenvoudig gebouwd, gebruikt en onderhouden kunnen worden;
- het systeem moet voor de gemeenschap als geheel en voor individuele huishoudens financieel draagbaar zijn;
- het systeem moet passen binnen de sociaal-culturele en institutionele omstandigheden
- het gebruik van energie, water en materialen benodigd voor de bouw, het gebruik en het onderhoud moet geminimaliseerd zijn en de emissies naar de omgeving moeten geminimaliseerd zijn.

Hieraan zou nog kunnen worden toegevoegd dat het systeem ook robuust dient te zijn en daarmee bestand tegen natuurgeweld en andere bedreigingen.

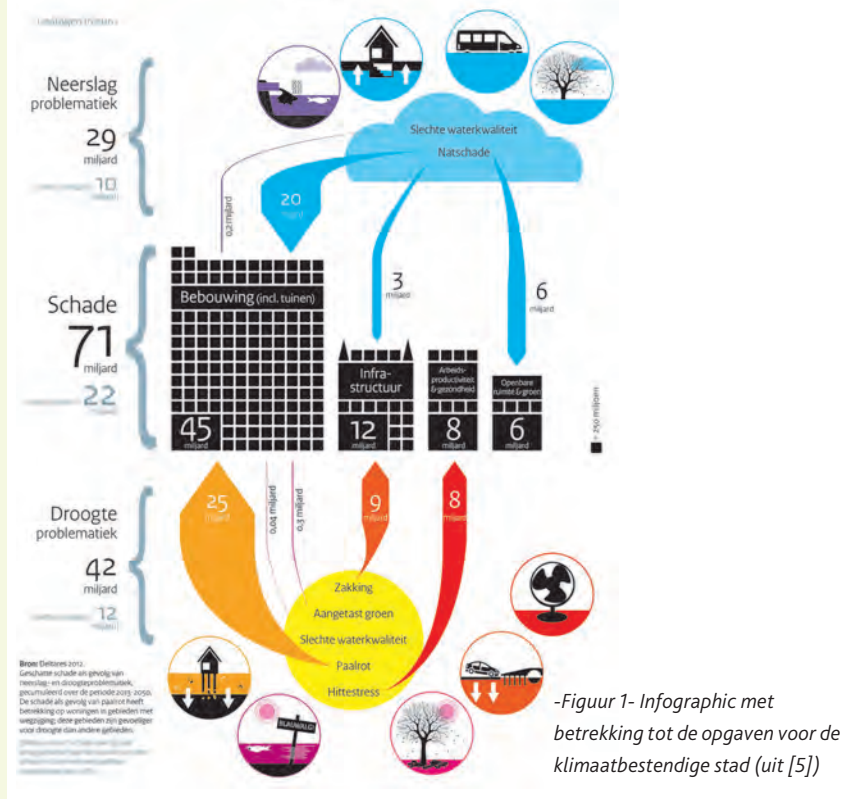
Uit deze opsomming blijkt duidelijk dat niet alleen technisch-functionele factoren een

1. Van alle water op aarde is slechts 2,5% zoetwater. Hiervan is slechts 1,3% niet in ijskappen of in grondwater gevangen. Hiervan is uiteindelijk slechts 26,9% aan het oppervlak, niet-bevoren, beschikbaar [1]. Ofwel slechts ongeveer 0.0087% van de totale hoeveelheid water op aarde is beschikbaar als zoetwater.

2. Een ander groot probleem waar Nederland mee te kampen heeft maar waar hier niet verder op wordt ingegaan is kwel van zout water. Deze kwel zorgt voor een verzilting van de bodem en heeft daarmee sterke invloed op de kwaliteit van de top soil in Nederland.

De Klimaatbestendige stad

Opgaven



waterleidingbedrijf dat de fabriek in gaat [8]. Ook in Nederland wordt momenteel volop geëxperimenteerd om de waterkwaliteit te verbeteren. Een voorbeeld hiervan is het kantorenpark De Ceuveld in Amsterdam. Voor dit gebied zijn de ambities op watergebied: 100% lokale behandeling van het afvalwater en van organisch afval; 100% autarkie voor wat betreft de watervoorziening; en 60% tot 80% terugwinning van nutriënten [9]. Voor kleine kantoorparks is Metabolic op dit kantorenpark aan het experimenteren met goedkope biofilters. De biofilters, die slechts 150 euro kosten, zuiveren het grijswater afkomstig van de kantoorparks tot schoon water dat kan worden geloosd op het oppervlaktewater [9]. Een belangrijk aspect met betrekking tot 'innovatieve afvoermaatregelen' zijn groene (steden)bouwkundige oplossingen zoals parken, plantsoenen, tuinen, groenstroken en wadi's. Deze voorzieningen minimaliseren bij hevige neerslag piekbelastingen op het riool, zorgen voor bodeminfiltratie en verbeteren het leefmilieu in de stad. Binnen het kader van de 'innovatieve afvoermaatregelen' onderschrijven daarnaast de meeste van de genoemde systeembenaderingen het idee van 'afval = voedsel' om tot een positieve footprint te komen [7]. Bij dit punt draait het om hoe om te gaan met het water dat we reeds gebruikt hebben. Een bekende hiërarchie uit de afvalverwerking - de 3R hiërarchie: Reduce, Reuse, Recycle - kan hiervoor als een goede basis dienen. Deze drie R'en kunnen worden gecombineerd met een vierde R: Renewables ofwel duurzame bronnen. Deze combinatie van stappen of strategieën is door van den Dobbelsteen [10] verwoord onder de noemer Nieuwe Stappenstrategie: 1. Reduceer de vraag; 2. Hergebruik reststromen; 3. Los de resterende vraag duurzaam op.

CIRCULAIRE PRINCIPES

Vraagreductie heeft vooral tot doel om de vraag naar drinkwater te verminderen. Drinkwater zou alleen moeten worden gebruikt voor die doelen die daadwerkelijk

rol spelen maar ook economische en sociale; samen vormen deze de pijlers van duurzaamheid. Vooral het laatste criterium, het ecologische criterium, heeft betrekking op het gebruik van de grondstoffen energie, water, materialen en top soil. Hieruit blijkt bijvoorbeeld ook dat er vaak verbanden zijn tussen de diverse bronnen of stromen; er is materiaal, energie en grond nodig om een hygiënische, veilige en duurzame watervoorziening in stand te houden. Het is daarom belangrijk om de vier basisbronnen (water, energie, materiaal en top soil) in samenhang te bezien en te onderzoeken waar verbanden optreden.

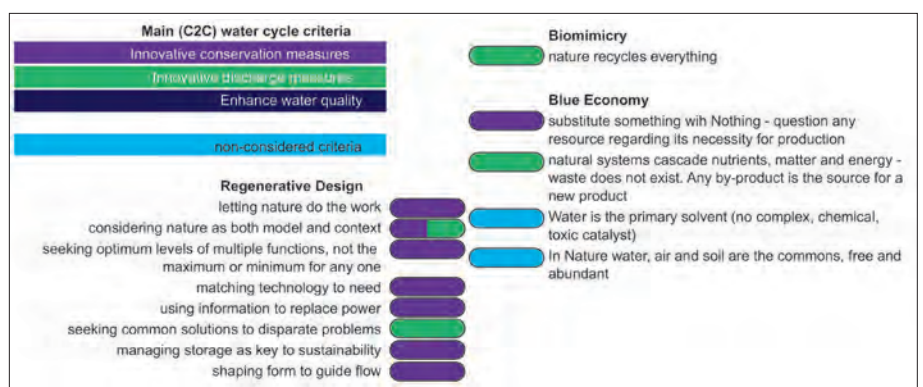
SYSTEEMDENKEN

Om in de wereldwijd groeiende behoefte aan drinkwater te kunnen voorzien en om de gevolgen van klimaatverandering te kunnen weerstaan, is een verandering in ons denken nodig. Onze watervoorziening zal meer in lijn gebracht moeten worden met circulaire principes. Onder andere vier grote systeembenaderingen zeggen iets over circulariteit in relatie tot water: Cradle-to-Cradle®, Regenerative Design, Biomimicry en Blue Economy. Van Dijk et al. [7] leiden onder andere af uit een analyse van deze systeembenaderingen dat er drie belangrijke principes zijn die betrekking hebben op water en die bij vrijwel al deze vier systeemtheorieën in bepaalde vorm naar voren

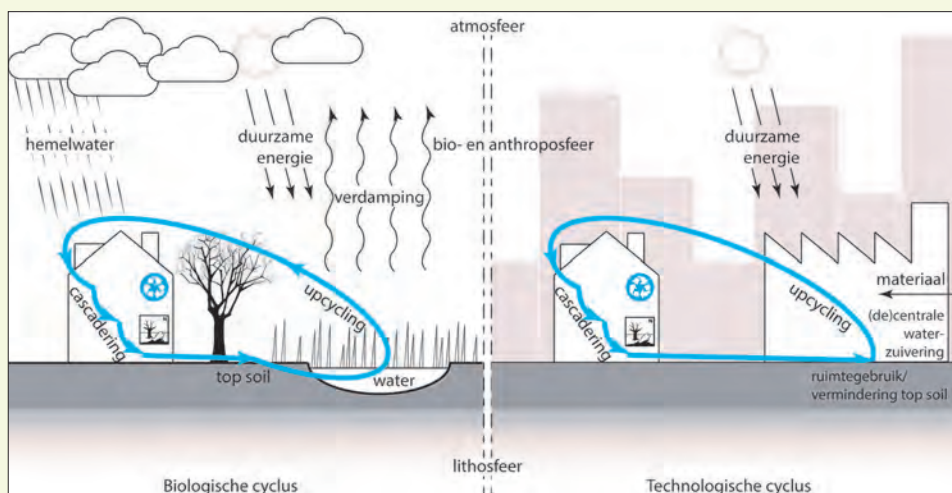
komen. De basisgedachte achter deze principes is het creëren van een positieve footprint. De drie principes zijn:

- (innovatieve) besparingsmaatregelen;
- (innovatieve) afvoermaatregelen;
- verbeteren van de waterkwaliteit.

'Verbeteren van de waterkwaliteit' in deze context betekent onder meer dat bijvoorbeeld bedrijven die water gebruiken voor hun (productie)processen dit water schoner hun fabriek uit moeten laten gaan dan het erin ging. Een voorbeeld van een fabriek die werkt volgens deze principes is Rohner Textil AG uit Zwitserland dat biologisch afbreekbaar textiel maakt. Inspecties van de waterkwaliteit hebben laten zien dat het water dat de fabriek verlaat van minimaal dezelfde maar veelvuldig van betere kwaliteit is dan het water van het



-Figuur 2- Overzicht van water gerelateerde principes van vier systeembenaderingen (uit [7]).



-Figuur 3- Circulariteit in de biologische en technologische watercycli

drinkwaterkwaliteit vereisen, zoals consumptie en voedselbereiding.

Een duurzame bron van water is bijvoorbeeld regenwater, of in bredere zin hemelwater (inclusief sneeuw en hagel). Hemelwater is zeer geschikt om na slechts filtering (verwijderen van blad en andere macroscopische vervuiling) gebruikt te worden voor diverse doelen waaronder spoeling van het toilet, wassen van de auto, sproeien van de tuin en kamerplanten en eventueel wassen van kleding. Omdat er bij hemelwater een tijdsverschil zit tussen vraag en aanbod is opslag van water noodzakelijk. Maar vooral principe of stap 2, hergebruik van reststromen, heeft betrekking op circulariteit. Binnen het watersysteem kan onderscheid gemaakt worden tussen hergebruik van water met gelijkblijvende kwaliteit, cascaderen en upcycling. Hergebruik van water met gelijkblijvende kwaliteit treedt bijvoorbeeld op in watergekoelde systemen waarbij het water na afkoeling opnieuw kan worden gebruikt voor hetzelfde systeem. Dit is in feite een gesloten watercircuit en daardoor per definitie circulair. Cascaderen betekent hergebruik van water in een andere functie waarvoor water van laagwaardiger kwaliteit gebruikt kan worden. Een voorbeeld hiervan binnen een woning is het gebruik van douchewater voor toiletspoeling, eventueel na filtering met een membraanfilter zoals bijvoorbeeld toegepast in de wijk Vauban in Freiburg [11]. Eventueel kan deze cascade worden uitgebreid door toevoegen van de wasmachine. Het afvalwater uit de douche wordt, gezuiverd via een helofytenveld^{3,4} of via een

mebraanfilter, gebruikt voor de wasmachine en voor toiletspoeling. Upcycling is het opnieuw gebruiken van het water nadat als tussenstap eerst de kwaliteit van het water is verbeterd⁵. Dergelijke kwaliteitsverbetering vindt veelal plaats in een gemeentelijke waterzuiveringsinstallatie (centrale waterzuiveringsinstallaties of infiltratiegebieden in duinen [12]) maar kan ook plaatsvinden in de wijk of bij gebouwen (helofyten velden, lagunes, algenzuivering). Vooral de toepassingen in de wijk of bij gebouwen kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan de kwaliteit van de leefomgeving door meer groen en water in de wijk en ook zorgen voor waterberging in geval van neerslag met hoge intensiteit.

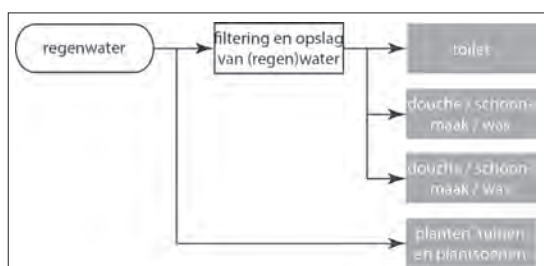
Een goed voorbeeld van een gebouw waarin het eigen 'afvalwater' wordt hergebruikt is het kantoorgebouw Covent Garden in Brussel van de architectenbureaus Art & Build Architect en Montois Partners Architects [13]. Dit kantoorgebouw heeft een binnentuin die tevens als biologische zuivering dient van het afvalwater uit de kantoren. Het in deze binnentuin gezuiverde water (tot grijswater kwaliteit) wordt vervolgens opnieuw gebruikt in het kantoorgebouw. Door een scheiding van diverse kwaliteiten van het water (drinkwater en grijswater voor gebruik) en door de eigen zuivering is dit gebouw voor wat betreft water grotendeels zelfvoorzienend. Tevens is de binnentuin een plezierige ruimte om in te verblijven.

Een ander voorbeeld in dit kader is de waterzuivering van het bedrijf Organica in Boedapest, de biomakery [14]. Veel centrale rioolwater-

zuiveringsinstallaties (rwzi's) hebben grote open bassins waarin bacteriën en protozoa⁶ hun werk doen om het water schoon te maken. Veelal stinken deze bassins en zijn deze geen lust voor het oog. Een jaar of 16 geleden begon het Hongaarse bedrijf Organica met het bedekken van deze bassins met netten en met waterplanten en met het plaatsen van kassen over dit geheel. De wortels van de waterplanten zorgen voor een divers ecosysteem van bacteriën, wormen, slakken en vissen. Dit leidde niet direct tot een verbetering van het zuiveringsproces maar wel tot een vermindering van het energiegebruik van de rwzi. Als volgende stap werd een reeks kleine bassins in serie aangelegd die zorgden voor een cascade in het voedselsysteem. Als gevolg hiervan nam niet alleen het energiegebruik af maar werd ook de zuivering efficiënter. Dit systeem heeft maar 70% van de ruimte nodig, leidt tot 50% minder slib en heeft een 67% lager energiegebruik ten opzichte een traditionele rwzi [14]. Daarnaast veroorzaakt deze kas minder stank en is deze geschikt voor recreatie. Op die manier kan zuivering de wijk worden binnengehaald en de leefomgeving verbeteren hetgeen een positief sociaal effect tot gevolg heeft. Om de stap te kunnen maken naar hergebruik, cascadering en upcycling is het van belang om (naast het verbeteren van de leefomgeving) nadruk te leggen op de producten die vrijkomen bij zuiveringsprocessen.

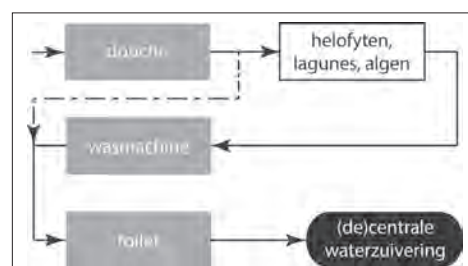
■ NADRUK OP PRODUCTEN

In het verleden werd de drinkwatervoorzie-



-Figuur 4 (links)- Voorbeeld van een duurzame bron

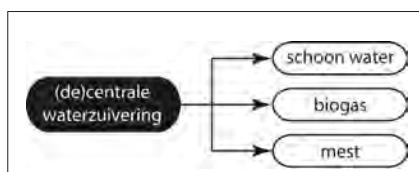
-Figuur 5 (rechts)- Voorbeeld van cascadering met een lichte vorm van upcycling tussentijds



ning en de waterzuiveringsinstallatie volledig gekozen en gedimensioneerd op basis van het verkrijgen van schoon drinkwater. Omdat in de toekomst diverse bronnen op raken, is het van belang om de drinkwatervoorziening in lijn te brengen met circulaire principes. In die lijn is het van belang om veel aandacht te geven aan producten die voortkomen uit het waterzuiveringsproces. Schoon drinkwater is slechts een van die eindproducten. Andere eindproducten kunnen bijvoorbeeld zijn biogas en mest (inclusief fosfaten). Biogas kan vervolgens worden gebruikt voor de opwekking van energie of als brandstof voor mobiliteit; mest kan vervolgens worden gebruikt in de landbouw als voedingsbron voor gewassen. Hiermee verschuift de focus van 'afval' naar 'voedsel' en van kostenpost naar inkomstenbron. Zeker in tijden van schaarste is de economische waarde van mest en biogas groot. Diverse auteurs pleiten ervoor dat in de toekomst waterzuiveringsinstallaties ontworpen moeten worden rondom de gewenste producten die geleverd moeten worden [15,16]. In gebieden bijvoorbeeld waar een grote schaarste is aan mest, zal de dimensionering van het zuiveringssysteem op de productie van mest gebaseerd moeten worden.

SMART WATER GRIDS

Om goed in te kunnen spelen op de omvang van waterstromen en de kwaliteit hiervan is het zaak om het watersysteem om te vormen tot een intelligent systeem. Net als smart energy grids kan er gesproken worden van smart water grids. Monitoring van de waterhoeveelheden en -kwaliteit zijn hierbij belangrijke aspecten. Met behulp van intelligente meters en internettechnologie kan het water worden gevolgd bij de bron, in het distributienetwerk en bij de eindgebruiker. Een voorbeeld van het gedetailleerd monitoren van neerslaghoeveelheden vindt momenteel plaats in Amsterdam als onderdeel van het onderzoeksproject Rain Sense waarbij onder andere de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de TU Delft betrokken is [17]. Binnen dit project wordt de hoeveelheid neerslag gemonitord via meetstations, via paraplus die tevens als regenmeter dienen en via apps. De resultaten van deze monitoring leiden tot een gedetailleerd beeld van de



-Figuur 6- Nadruk op de producten die bij zuivering vrijkomen

neerslaghoeveelheden in de stad tot op straatniveau en leiden daardoor tot een gerichte aanpak van mogelijke knelpunten.

CONCLUSIE

Om in de nabije toekomst te komen tot een duurzaam en hygiënisch watersysteem is circulair denken een vereiste. Naast waterbesparing en het gebruik van hernieuwbare bronnen zoals hemelwater, dient er aandacht te zijn voor hergebruik (zonder kwaliteitsverlies), cascadering en duurzame upcycling. Bij dergelijk gebruik van reststromen is het van belang om onderscheid te maken tussen diverse waterkwaliteitsniveaus (drinkwater, grijswater en zwartwater). Omdat voor veel van deze technieken ook energie en materialen nodig zijn, blijft efficiëntie van deze systemen een belangrijke randvoorwaarde; maar is effectiviteit net zo belangrijk dan wel belangrijker. Bij effectiviteit gaat het ook om nadruk op de gewenste producten bij waterzuivering. Schoon (drink)water is niet per definitie het enige eindproduct dat vrijkomt bij waterzuivering. Andere eindproducten bijvoorbeeld kunnen zijn biogas en mest. Tot slot is het noodzakelijk om een goed beeld te krijgen van het watersysteem; daarbij gaat het onder andere om monitoring van de omvang van waterstromen en van de kwaliteit hiervan. Aan de ontwikkeling van al deze benodigde watersystemen kunnen leden van de TVVL met hun kennis en expertise een belangrijke bijdrage leveren.

REFERENTIES

1. Shiklomanov, I. (1993), "World fresh water resources", In: P.H. Gleick (ed.), Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources, Oxford: Oxford University Press.
2. Worldometers (2015), World Population: Past, present and Future, onttrokken aan het internet op 1 oktober 2015, <<http://www.worldometers.info/world-population/>>.
3. KNMI (2014), KNMI Klimaatscenario's voor Nederland '14, De Bilt: KNMI.
4. Rense, R. (2015), "Klimaatverandering en drinkwatervoorziening", Helpdesk Water Rijksoverheid, onttrokken aan het internet op 27 augustus 2015, <http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/water-en-ruimte/klimaat-0/factsheets/item_22763/>.
5. Moons, A., Steegh, J., Randeraat, G. van en Brouwer, J. (2013), Manifest Klimaatbestendige Stad. Nu bouwen aan de stad van de toekomst, coalities Klimaatbestendige Stad.
6. Lühti, Ch., Panesar, A., Schütze, Th., Norström, A., McConville, J., Parkinson, J., Saywell, D. en Ingle, R. (2011), Sustainable sanitation in cities – A framework for action, Rijswijk: Papiroz Publishing House.
7. Dijk, S. van, Tenpierik, M. and Dobbels, A. van

den (2014), "Continuing the building's cycles: A literature review and analysis of current systems theories in comparison with the theory of Cradle to Cradle", Resources Conservation and Recycling 82: 21-34.

8. IEHN (2015), Case Studies - Rohner Textiles: Cradle-to-cradle innovation and sustainability, Investor Environmental Health Network, onttrokken aan het internet op 15 september 2015, <<http://www.iehn.org/publications.case.rohner.php>>.
9. Metabolic (2015), Metabolic – De Ceuveld, onttrokken aan het internet op 19 oktober 2015, <<http://www.metabolic.nl/projects/de-ceuveld/>>.
10. Dobbels, A.A.J.F. van den (2008), "Towards closed cycles – new strategy steps inspired by the Cradle to Cradle approach", In: Proceedings of the 25th passive and low energy architecture international conference, UC Dublin, 22-24 October, Dublin.
11. Hasselaar, B.L.H., Graaf, P.A. de, Luising, A.A.E. en Timmeren, A. van (2006), Integratie van decentrale sanitatie in de gebouwde omgeving, TU Delft, Delft.
12. Galjaard, G. (2015), "Uitvindingen die de waterwereld gaan veranderen", Puur, pp. 11-14, onttrokken aan het internet op 27 oktober 2015, <<http://www.pwn.nl/consument/water/Paginas/waterzuivering.aspx>>.
13. Art & Build Architect (2007), Covent Garden Brussels 2007, brochure, onttrokken aan het internet op 20 oktober 2015, <<http://www.artbuild.eu/projects/environment/covent-garden>>.
14. Dooren, H. van (2014), "Botanische waterzuivering. Decentrale rwzi komt zo letterlijk dichtbij", Milieumagazine 25 (5-6): 12-13.
15. SuSanA (2008), Sustainable Sanitation for Cities, Thematisch artikel, versie 1.2, Sustainable Sanitation, Alliance, Eschborn, Duitsland.
16. Murray, A. (2009), Don't think of waste water: Evaluation and planning tools for re-use oriented sanitation infrastructure, proefschrift, Universiteit van California, Berkeley, USA.
17. AMS (2015), Rain Sense. Citizens preparing Amsterdam for future weather, Amsterdam Institute for Advanced Metropolitan Solutions, onttrokken aan het internet op 29 september 2015, <<http://www.ams-institute.org/solution/rain-sense/>>.

3 Een helofytenveld, helofytenfilter of moerasfilter is een filter dat met behulp van specifieke planten water zuivert tot een kwaliteit die geschikt is om het water terug te brengen in de natuur. De zuivering vindt hoofdzakelijk plaats door bacteriën die zich rondom de wortels van de planten nestelen.

4 Het toevoegen van lichte zuivering via een helofytenveld is eigenlijk een vorm van upcycling en zorgt er daarmee voor dat er feitelijk niet meer gesproken kan worden van een zuivere cascade.

5 Naast de hier besproken vorm van kwaliteitsverbetering is een andere vorm van kwaliteitsverbetering het revitaliseren van water door het te bewegen en daarmee te mengen met zuurstof.

6 Éencellige micro-organismen.