



## **Regenwater als bron voor drinkwater in Nederland: weegt milieuwinst op tegen de kosten?**

*Geschreven door Roberta Hofman-Caris, Luuk de Waal, Tessa van den Brand (KWR Watercycle Research Instituut), René van der Aa (Waternet) en Jan Peter van der Hoek (Waternet, Technische Universiteit Delft).*

**Veel consumenten hebben het idee dat ze hun milieu-impact kunnen verkleinen door zelf uit regenwater drinkwater te maken. Om dat te onderzoeken hebben we een levenscyclusanalyse en een kostenberekening gemaakt. Daarbij hebben we gekeken naar drinkwaterbereiding uit regenwater voor een stadswijk en voor een individuele woning in het buitengebied.**

Eerder onderzoek naar regenwater betrof een literatuurstudie naar de kwaliteit en kwantiteit van (opgevangen) regenwater [1]. Hoewel regenwater schoner is dan oppervlaktewater, is toch zeker een robuuste zuivering vereist voordat het als drinkwater kan worden gebruikt. Een groot probleem is het waarborgen van de veiligheid van het water. De hiervoor benodigde analyses zijn erg kostbaar. Door het relatief kleine oppervlak van Nederlandse daken is de hoeveelheid water die kan worden opgevangen gering. Een eerste inschatting liet zien dat het op kleine schaal gebruiken van regenwater vrij duur is, maar dat op wijk- of buurtschaal de kosten in de orde grootte kunnen liggen van de prijs van centraal geproduceerd drinkwater. Een dergelijke aanpak zou het voordeel hebben dat wateroverlast door piekbuien kan worden voorkomen.

Voor Waternet en KWR waren deze uitkomsten een reden om te berekenen wat de kosten van een decentrale zuivering nu echt zouden zijn en welke milieuwinst hiermee te behalen is. Daarom zijn een levenscyclusanalyse (LCA) en kostenberekening (TOC: total cost of ownership) gemaakt voor een stadswijk en een individuele woning. Als model zijn de volgende situaties als uitgangspunt genomen:

- Een nieuw aan te leggen stadswijk in Amsterdam (Centrumeiland), niet aangesloten op het centrale drinkwaterleidingnet
- De bouw van een individuele woning in het buitengebied, niet aangesloten op het centrale drinkwaterleidingnet

Voor beide casussen hebben we enkele scenario's doorerekend, gebaseerd op een zuivering door middel van omgekeerde osmose (RO) of met behulp van geavanceerde oxidatie (AOP) op basis van een UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proces. In Centrumeiland zijn we uitgegaan van de opvang in een open vijver van alle neerslag die op het verharde en/of bebouwde oppervlak valt. Voor de individuele woning zijn beide typen zuivering doorerekend voor zowel opvang in een open vijver als in een gesloten opvangtank.

## **Uitgangspunten voor Centrumeiland**

Voor de berekeningen voor de stadswijk Centrumeiland is uitgegaan van het stedenbouwkundig plan uit mei 2016 van de gemeente Amsterdam [2]. Hier zijn op een oppervlak van 13 hectare ongeveer 1300 woningen gepland, deels individuele huizen en deels appartementencomplexen. Het totale verharde en bebouwde oppervlak is 93.600 m<sup>2</sup>.

Op basis van de gegevens van het KNMI over de laatste jaren zijn we uitgegaan van een jaarlijkse neerslag van 856 millimeter en van verliezen door verdamping, weglekken e.d. van gemiddeld 20%. Het deel dat effectief kan worden opgevangen is dus 80% (ofwel de gemiddelde run-off coëfficiënt = 0,8,). De hoeveelheid opgevangen neerslag komt daarmee ongeveer op 685 mm/jaar. Op een oppervlak van 93.600 m<sup>2</sup> kan dus  $6,41 \cdot 10^4$  m<sup>3</sup> water worden opgevangen.

Aangenomen dat een gemiddeld huishouden 2,2 mensen telt, en de inwoners ongeveer 120 liter per dag gebruiken, zou hiermee maximaal 51% van de drinkwaterbehoefte gedekt kunnen worden. Door de daken aan te passen kan de run-off coëfficiënt mogelijk worden verhoogd tot 0,9, maar dan wordt nog steeds slechts in 57% van de totale drinkwaterbehoefte voorzien. Toepassing van waterbesparende maatregelen kan het drinkwaterverbruik verlagen, maar deze zijn relatief duur of vaak nog niet geschikt voor grootschalige toepassingen. Het gebruik van vacuümtoiletten in de wijk zou een besparing van maximaal 28% op het waterverbruik opleveren [1]. In dat geval zou de drinkwaterbehoefte voor ongeveer 70% gedekt kunnen worden uit regenwater.

Bij de berekening van de TCO en LCA is ervan uitgegaan dat de hoeveelheid opgevangen regenwater wel voldoende is om te voldoen aan de vraag, ofwel, dat er niet meer mensen in de wijk wonen dan waarvoor drinkwater geproduceerd kan worden. Het totale bebouwde oppervlak is gelijk gehouden: de appartementencomplexen zijn dus minder hoog.

Het regenwater wordt via wadi's naar een centrale open opvangvijver geleid. Om over voldoende regenwater te kunnen beschikken, en om wateroverlast door piekbuien te voorkomen, moet deze vijver groot genoeg zijn om enkele piekbuien kort na elkaar te kunnen opvangen. We kwamen uit op een inhoud van 14.000 m<sup>3</sup>, ofwel een oppervlak van 3500 m<sup>2</sup> bij een diepte van 4 meter. Vervolgens zijn twee scenario's doorgerekend:

### *Scenario 1: zuivering met RO*

Het water wordt eerst behandeld met behulp van RO, waarna het wordt geconditioneerd via marmerfiltratie (om de hardheid en de pH aan te passen). Na UV-desinfectie wordt het in een buffervat, voorzien van een absoluutfilter, opgeslagen.

### *Scenario 2: zuivering met AOP*

Het water wordt gefiltreerd over een zandfilter, en daarna behandeld met UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. De overmaat peroxide en eventueel gevormde bijproducten worden verwijderd met behulp van een actieve koolfilter, waarna marmerfiltratie plaatsvindt. Eventueel is een extra desinfectiestap mogelijk. Het water wordt opgeslagen in een buffervat met absoluutfilter.

In beide scenario's wordt het water via een "regulier" leidingnet naar de woningen gebracht.

## **Uitgangspunten voor een individuele woning**

Voor de individuele woning in het landelijk gebied zijn we ervan uitgegaan dat het dak voldoende regenwater kan opvangen om een gemiddeld huishouden (van 2,2 personen) van drinkwater te kunnen voorzien. In het buitengebied is namelijk veel meer ruimte

beschikbaar dan in het centrum van Amsterdam. Er is gekeken naar zowel opvang in een open vijver als in een gesloten opvangtank. Ook hier moeten enkele piekbuien na elkaar opgevangen kunnen worden. Bij opvang in een open vijver is een bak nodig met een inhoud van 20 m<sup>3</sup>, die een deel van het jaar weinig water zal bevatten. Het is de vraag of de aanwezigheid van een dergelijke grote bak bij een woning wenselijk is, en daarom zijn ook scenario's doorgerekend waarbij de opvang in een gesloten tank plaatsvindt. Ongezuiverd water kan echter niet lang in een gesloten tank bewaard worden, en bovendien moet de opvangtank snel genoeg weer leeg zijn om een volgende piekbui te kunnen opvangen. Dit betekent dat een zuivering nodig is met een relatief grote capaciteit, die echter niet continu in bedrijf is. Bij de open vijver is een continue zuivering met een veel kleinere capaciteit doorgerekend. We zijn er is bij de gesloten opvangtank van uitgegaan dat de eerste 2 millimeter van elke bui (de first flush) niet gebruikt wordt. Dat water is meestal sterk vervuild, waardoor de tank verontreinigd kan raken. Bij opvang in een open vijver heeft dit geen zin, omdat de vijver zelf ook vuil en stof uit de omgeving zal opvangen. Dit heeft wel gevolgen voor de grootte van het dak dat nodig is om voldoende water te kunnen opvangen: 140 m<sup>2</sup> bij een open vijver en 235 m<sup>2</sup> bij een gesloten opvangtank.

Met deze gegevens zijn de volgende vier scenario's doorgerekend:

*Scenario 3: gesloten opvangtank met RO*

Het water wordt opgevangen in een tank, voorzien van een rooster om bladeren en takjes e.d. te verwijderen. Vervolgens wordt het gezuiverd met behulp van een RO-proces, waarna marmersfiltratie plaatsvindt. Na UV-desinfectie wordt het water in een buffertank met een absoluutfilter opgeslagen.

*Scenario 4: gesloten opvangtank met AOP*

Na opvang in de tank (voorzien van een rooster), vindt snelle zandfiltratie plaats, gevolgd door UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en filtratie over actieve kool en conditionering. Hierna kan nog een UV-desinfectie worden geplaatst. Opvang vindt plaats in een buffervat, voorzien van een absoluutfilter. Zuivering vindt periodiek plaats.

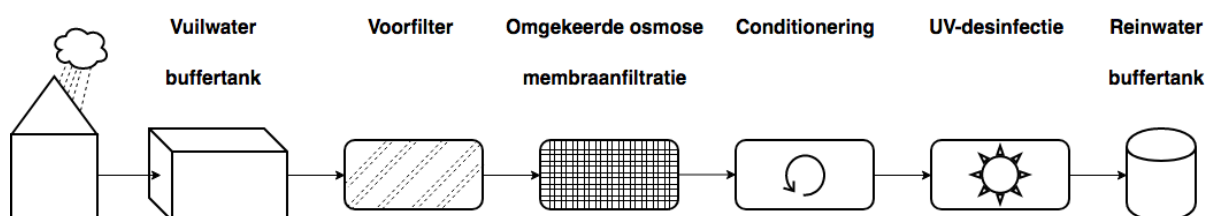
*Scenario 5: open vijver met RO*

Het water wordt opgevangen in een open vijver, en vervolgens op dezelfde manier behandeld als in scenario 3, maar wel via een vrijwel continu proces.

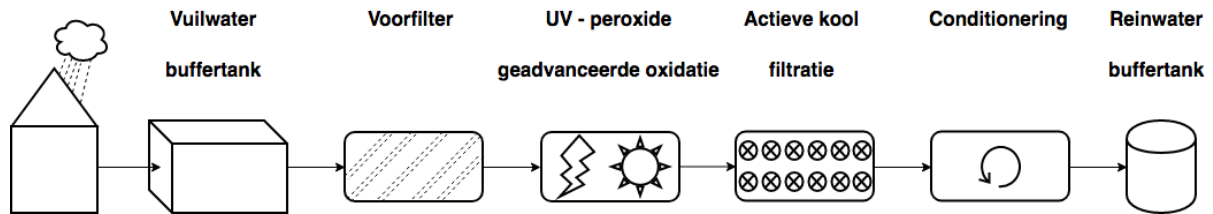
*Scenario 6: open vijver met AOP*

Het water wordt opgevangen in een open vijver, en vervolgens op dezelfde manier behandeld als in scenario 4, maar wel met via een vrijwel continu proces.

De scenario's zijn schematisch weergegeven in afbeelding 1 en 2.



Afbeelding 1: Scenario's met Reverse Osmosis (RO) als zuiveringsstap



Afbeelding 2: Scenario's met geavanceerde oxidatie (AOP) als zuiveringsstap.

## Resultaten en discussie

Voor het berekenen van de milieu-impact is gebruik gemaakt van SimaPro 8 software, de ReciPe Endpoint E rekenmethode, en de EcoInvent 3.0 database. Hierbij is alleen uitgegaan van zogenaamde "consumables" (alles wat wordt verbruikt, zoals chemicaliën en energie), aangezien het erg lastig is een goede waarde toe te kennen aan installaties en leidingen, zeker ook bij vergelijking met bestaande systemen. Alle berekeningen zijn gebaseerd op de toepassing van groene energie (windenergie). Milieu-effecten zijn zowel berekend in de vorm van een CO<sub>2</sub>-voetafdruk, als in ecopunten (Pt), waarbij de gemiddelde impact van één West-Europees persoon gemiddeld 1000 ecopunten per jaar bedraagt [3]. In ecopunten worden alle milieu-effecten meegewogen, ook bijvoorbeeld het gebruik van land en de uitputting van grondstoffen. Daarom geeft een impact in ecopunten een beter beeld van de milieu-impact dan alleen de CO<sub>2</sub>-voetafdruk.

Voor de berekening van de totale kosten (TCO) over een periode van twintig jaar is gebruik gemaakt van het Handboek Kosten Kleinschalige Waterbehandeling van DHV [4]. In alle gevallen is bij de dimensionering van de zuiveringen rekening gehouden met voldoende opslagcapaciteit om een droge periode van zes weken te kunnen overbruggen, en ook met de mogelijkheid om onderhoud aan de installaties te kunnen plegen.

Het voordeel van regenwateropvang is dat er minder regenwater naar RWZI's gaat, en minder schade wordt veroorzaakt door (piek)buien. Om hier een financiële afweging voor te kunnen maken is gekeken naar een belasting die sinds enkele jaren in de stad Berlijn wordt geheven per vierkante meter verhard oppervlak. Hiervoor is namelijk een inschatting gemaakt van de kosten die gemoeid zijn met de opvang en behandeling van neerslag, en die komen neer op €1,84/m<sup>2</sup> per jaar [5]. Ook in Nederland wordt door sommige gemeenten nagedacht over de invoering van een dergelijke "tegeltax". Aangenomen dat de situatie in Berlijn niet significant zal afwijken van die in Amsterdam, is in dit onderzoek gerekend met een besparing die overeenkomt met €1,84/m<sup>2</sup>.

De analyses die een drinkwaterbedrijf moet uitvoeren variëren per jaar, maar in onze berekeningen zijn we uitgegaan van een gemiddelde prijs van €2500,-/jaar. Aangezien de vereiste analyses hetzelfde zijn voor alle productievolumes, komen deze kosten voor de stadswijk Centrum-eiland neer op €0,04/m<sup>3</sup>, maar voor de individuele woning op €25,93/m<sup>3</sup>.

De resultaten van alle berekeningen, uitgedrukt per m<sup>3</sup> drinkwater, zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: resultaten LCA en TCO

Scenario	Productie-kosten (€/m <sup>3</sup> )	Kosten incl. analyses (€/m <sup>3</sup> )	Besparing "Tegeltax" (€/m <sup>3</sup> )	Netto kosten (productie+ analyse-tegeltax)	Milieu-impact	
					mPt/m <sup>3</sup>	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
1(RO)	2,71	2,74	1,60	1,14	15	0,003
2 (AOP)	3,43	3,47	1,60	1,87	12	0,004
3(gesloten tank, RO)	85,24	111,17	4,48	106,69	33	0,002
4 (gesloten tank, AOP)	84,76	110,69	4,48	106,21	24	0,004
5 (open vijver, RO)	38,27	64,20	2,69	61,51	33	0,002
6 (open vijver, AOP)	37,02	62,95	2,69	60,26	24	0,004

De huidige kosten van drinkwater van Waternet bedragen ongeveer €1,63/m<sup>3</sup> [6], inclusief vast recht, BTW enz. De centrale zuivering in Leiduin heeft een milieu-impact die overeenkomt met 36 mPt ofwel 0,130 kg CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> drinkwater.

Uit tabel 1 blijkt direct het effect van schaalgrootte: de zuivering voor een individuele woning is per m<sup>3</sup> verreweg het duurste. Het grote verschil in kostprijs tussen de scenario's 3 en 4 aan de ene, en 5 en 6 aan de andere kant wordt veroorzaakt doordat bij 3 en 4 een relatief grote zuivering nodig is om snel het opgevangen water te kunnen zuiveren, om enerzijds ruimte te maken om een volgende piekbui op te kunnen vangen, en anderzijds het water lang genoeg te kunnen bewaren. Doordat bij een gesloten tank een first flush nodig is, is het benodigde dakoppervlak groter dan bij een open vijver, wat tegelijkertijd leidt tot een grotere besparing. Deze besparing is klein in verhouding tot de totale kosten die gemaakt moeten worden. In deze kosten is de bijdrage van de analysekosten relatief groot (30-50%). Ontwikkeling van geschikte sensoren om de waterkwaliteit te kunnen bewaken zou hier een groot verschil kunnen maken.

Voor de zuivering in Centrumeland komen de kosten in dezelfde orde grootte uit als de kosten voor centraal geleverd drinkwater, zeker als de besparingen mee worden gerekend. Ook hier zou de beschikbaarheid van goede sensoren handig zijn, maar door het grotere productievolume zijn de analysekosten in scenario's 1 en 2 klein ten opzichte van de totale productiekosten.

Uit de LCA blijkt dat decentrale drinkwaterproductie uit opgevangen regenwater inderdaad leidt tot een milieuwinst. Dit is toe te schrijven aan de betere kwaliteit van regenwater ten opzichte van oppervlaktewater, waarin meer vervuilingen voorkomen die een uitgebreidere zuivering nodig maken. Dit leidt tot een kleinere voetafdruk voor de zuivering. De besparing per persoon is echter gering: de totale voetafdruk van een persoon is ongeveer 1000 Pt/jaar, en bij een jaarlijks waterverbruik van circa 50 m<sup>3</sup> bedraagt de totale winst dus ongeveer één

promille per persoon. Een andere manier om deze besparing te “wegen” is door te kijken naar de kosten per ton CO<sub>2</sub>, en die te vergelijken met de kosten voor emissierechten van CO<sub>2</sub>. Deze laatste bedragen op het ogenblik ongeveer €13,-/ton CO<sub>2</sub> [7]. Voor Centrumeiland bedragen de kosten die gemaakt moeten worden om de CO<sub>2</sub>-uitstoot te beperken ongeveer €12.000,-/ton, en voor de individuele woning zelfs €488.000,-/ton (bij een open vijver) tot €858.000/ton CO<sub>2</sub> (bij een gesloten tank). Hieruit blijkt dat de decentrale productie van drinkwater uit regenwater bepaald geen effectieve manier is om de duurzaamheid te bevorderen. Hierbij moet worden opgemerkt dat de milieu-impact is gebaseerd op “consumables”, en geen rekening houdt met de aanleg van installaties en leidingnetwerken.

De grootste problemen bij decentrale zuivering op wijkniveau zijn dat er onvoldoende neerslag kan worden opgevangen om alle inwoners van een dichtbevolkte stadswijk van drinkwater te voorzien, en dat de benodigde opvangvijver een groot beslag legt op de beschikbare ruimte. In het geval van Centrumeiland zou deze opvangvijver ten koste gaan van ongeveer de helft van alle geplande sportveldjes en plantsoenen.

Een combinatie van decentrale met centrale zuivering heeft verschillende nadelen. De huidige leidingnetten zijn zo ontworpen dat ze bij een normaal debiet “zelfreinigend” zijn. Het centrale leidingnet zou dan moeten kunnen fungeren als back-up voor het decentrale systeem, bijvoorbeeld in perioden van droogte. Maar, doordat altijd voldaan moet kunnen worden aan de leveringseisen voor drinkwater, kunnen het productieproces en het leidingnet niet kleiner ontworpen worden dan het huidige systeem, waardoor er dus regelmatig sprake zal zijn van een overcapaciteit. Dit leidt tot een hogere drinkwaterprijs per m<sup>3</sup>. Doordat er minder water door het leidingnet stroomt, wordt het zelfreinigende vermogen van het net kleiner, en de langere verblijftijden in het net leiden tot een afname van de waterkwaliteit. In totaal betekent dit dus dat de kwaliteit van het drinkwater onder druk komt te staan, terwijl de prijzen toenemen, en de milieuwinst minimaal is.

## **Conclusies**

Decentrale productie van drinkwater uit opgevangen regenwater is wat kosten betreft mogelijk op wikschaal. Zeker indien het voorkomen van overlast en kosten ten gevolge van zware regenval worden meegerekend, komen de kosten in dezelfde grootteorde uit als de huidige kosten voor centraal geleverd drinkwater. Het grootste probleem is echter dat er onvoldoende neerslag opgevangen kan worden om alle inwoners van een dichtbevolkte stadswijk van voldoende drinkwater te voorzien. Bovendien neemt de benodigde opvangvijver te veel ruimte in. Praktisch is het dus niet toepasbaar in de huidige stedenbouwkundige ontwerpen van nieuwe wijken.

Uit de LCA blijkt dat decentrale zuivering op wikschaal inderdaad iets duurzamer is dan centrale drinkwaterproductie uit oppervlaktewater, maar het verschil is zo klein dat het slechts minimaal (circa 1‰) bijdraagt aan een vermindering van de totale voetafdruk van een individuele inwoner.

Decentrale zuivering voor een individuele woning levert nauwelijks milieuwinst op, en is heel duur. De prijs kan wel significant dalen als er geschikte sensoren op de markt komen om de waterkwaliteit te bewaken, maar zelfs dan nog is zuivering op deze schaal vele malen duurder dan centrale drinkwaterlevering.

Een combinatie van decentrale en centrale drinkwaterzuivering leidt tot hogere kosten en een slechtere kwaliteit drinkwater.

Kortom: decentrale zuivering levert nauwelijks voordelen op voor het milieu, is vrij kostbaar, en in dichtbevolkte stadswijken praktisch vaak niet mogelijk.

### **Referenties**

1. Bertelkamp, C., C.H.M. Hofman-Caris, A. Roelandse, R. Van der Aa, and J.P. Van der Hoek, Regenwater als bron voor drinkwater in Nederland: een haalbare kaart?, in H2O-online. 2017, Koninklijk Nederlands Waterennetwerk.
2. <https://www.amsterdam.nl/projecten/ijburg/centrumeiland/> d.d. 07-05-2018
3. Baayen, H., Eco-indicator 99; manual for designers; A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. 2000, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment: The Hague, The Netherlands.
4. Water, D., Handboek kosten kleinschalige waterbehandeling. 2000, Amersfoort: DHV
5. [https://www.welt.de/print/die\\_welt/hamburg/article10416092/Regensteuer-tritt-2012-in-Kraft.html](https://www.welt.de/print/die_welt/hamburg/article10416092/Regensteuer-tritt-2012-in-Kraft.html) d.d. 07-05-2018
6. <http://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Cijfers/Drinkwaterstatistiekenn-2017-NL.pdf> d.d. 07-05-2018
7. <http://markets.businessinsider.com/commodities/co2-emissionsrechten> d.d.07-05-2018

### **SAMENVATTING**

**Veel consumenten hebben het idee dat ze hun milieu-impact kunnen verkleinen door zelf uit regenwater drinkwater te maken. We hebben een levenscyclusanalyse en een kostenberekening gemaakt voor decentrale zuivering van regenwater op het niveau van een stadswijk en een individuele woning in het buitengebied. Op wijkniveau zijn de kosten acceptabel, maar voor een individuele woning zijn ze erg hoog. De meerkosten staan niet in verhouding tot de te behalen milieuwinst. Belangrijke praktisch problemen zijn dat er in dichtbebouwde stadswijken te weinig regen valt voor alle inwoners en dat er te weinig ruimte is om een dergelijke zuivering te plaatsen.**