

## Hemel(s)water: van regenwater naar drinkwaterkwaliteit

*Albert Jansen (Water Innovation Consulting), Daan Barug (Bastiaanse Communication) en Jan Henk Hanemaaijer (i3 Innovative Technologies)*

**Drinkwaterbronnen worden schaars en de waterkwaliteit staat onder druk. Regen is wettelijk niet als bron voor drinkwater in overweging genomen. Pilotonderzoeken wijzen uit dat regenwater, op de juiste manier opgevangen en behandeld, voldoet aan de chemische en microbiologische parameters van het Drinkwaterbesluit. Dit concept - Hemel(s)water - wordt beschreven in de door Kiwa opgestelde 'Declaration of Design'. De waterbehandeling en opvang gebruikt geen energie en chemicaliën waardoor deze klimaatneutraal is. Toepassing als drinkwater en proceswater in de voedingsmiddelenindustrie en in de procesindustrie behoort tot de reële mogelijkheden.**

Het wordt steeds moeilijker om de beschikbaarheid en kwaliteit van drinkwater te garanderen. In meer dan de helft van de 216 drinkwaterwinningen in Nederland zijn binnen afzienbare tijd problemen met de beschikbare hoeveelheid of de kwaliteit te verwachten [1]. De langere droogteperiodes en de aanwezigheid van vervuilende stoffen zijn hier debet aan.

Ondanks langere droogteperiodes neemt in Nederland tegelijkertijd de jaarlijkse neerslaghoeveelheid geleidelijk toe. In de periode 1910-2019 was er sprake van een toename van 692 naar 873 millimeter per jaar [2]. Op de totale oppervlakte van Nederland van 41.543 km<sup>2</sup> betekent dit een grote potentiële bron van drinkwater (ruim 36 miljard m<sup>3</sup>, Gm<sup>3</sup>). Ter illustratie: het jaarlijks huishoudelijk verbruik in Nederland is 0,818 Gm<sup>3</sup> [3]. Dit betekent een opvang van 2,2 procent van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid in de behoefte aan drinkwater zou kunnen voorzien. Voor de hoeveelheid drinkwater die geconsumeerd wordt, zou een opvang van slechts 0,1% nodig zijn. Theoretisch zou een oppervlakte van respectievelijk ca. 900 km<sup>2</sup> en 42 km<sup>2</sup> die wordt ingericht voor de opslag van regen voldoende zijn.

Wat is de kwaliteit van regen als bron voor drinkwater? Volgens het RIVM is de kwaliteit van hemelwater en opgevangen regenwater onvoldoende om ongezuiverd te kunnen gebruiken als drinkwater [4]. Dit is niet uniek, want hetzelfde geldt in sterkere mate ook voor de kwaliteit van ongezuiverd grond- en oppervlaktewater (van origine regenwater) dat in de huidige praktijk als bron voor drinkwater wordt gebruikt. Dit wordt veroorzaakt door emissies uit landbouw en industrie en door rioolwater, waardoor grond- en oppervlaktewater verontreinigd worden. Belangrijke verontreinigende stoffen zijn nitraat en fosfaat uit mest, bestrijdingsmiddelen en overige antropogene stoffen, zoals medicijnresten, microplastics en nanodeeltjes.

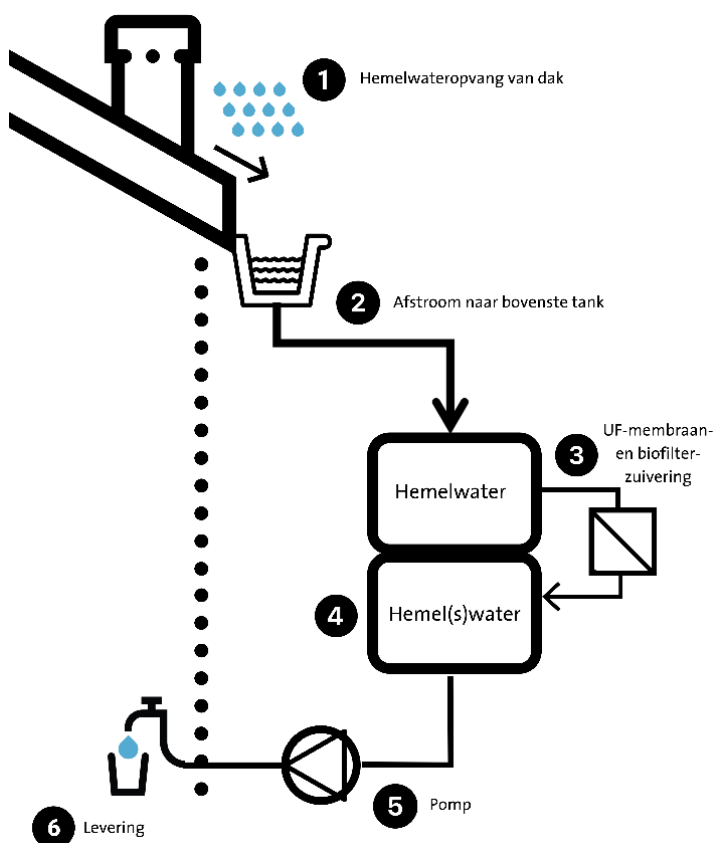
Het doel van dit onderzoek is om aan te tonen dat regenwater, op de juiste manier opgevangen en behandeld, als drinkwaterkwaliteit te gebruiken is.

### Het concept Hemel(s)water: van regenwater naar drinkwaterkwaliteit

De aanwezigheid van microbiologische verontreiniging en chemische stoffen die via de atmosfeer of de opvang in het regenwater terecht kunnen komen, vormt mogelijk een probleem voor de kwaliteit van het water. De kwaliteitseisen voor drinkwater zijn vastgelegd in het Drinkwaterbesluit. In het RIVM-rapport 'Regenwater als alternatieve bron voor drinkwater' worden als hoog relevant aangemerkt: *Escherichia coli* en andere bacteriën van de coligroep (norm: 0 kve/100 ml), lood (norm:

10 µg/l), pesticiden (norm: 0,10 µg/l individueel en 0,50 µg/l som) en als middel/hoog relevant de zuurgraad (norm: 7,0 < pH < 9,5) [4]. De overige parameters hebben de relevantie middel of laag. Wat betreft pesticiden kan opgemerkt worden dat de inschatting als hoog relevant gebaseerd is op literatuurgegevens uit de periode 1998-2003. Het gebruik van pesticiden vertoont echter een neerwaartse trend [5]. Pesticiden zouden eerder als laag ingeschat kunnen worden, mede met zicht op een duurzame productie waarbij het gebruik van pesticiden zo veel mogelijk kan worden voorkomen, zoals verwoord in het Uitvoeringsprogramma Toekomstvisie gewasbescherming 2030 [6]. Hemel(s)water, een geregistreerd handelsmerk, is een prijswinnend concept dat regenwater opvangt van eigen dak en zuivert van eventueel aanwezige chemische en microbiologische verontreinigingen (afbeelding 1) [7]. Op een van de uitvoeringen is patent verleend [8]. Hemels(s)water is een 'nature-based solution' dankzij de van nature voorkomende regen en het gebruik van zwaartekracht; de installatie verbruikt ook geen chemicaliën. Met biologische filtratie (Denutritor®, bevat diverse dragermaterialen en actief kool) wordt ammonium uit het regenwater verwijderd; ook eventueel aanwezige medicijnresten worden afgebroken [9]. Micro-organismen en antropogene stoffen, zoals microplastic en nanodeeltjes, worden verwijderd met behulp van ultrafiltratie- (UF)-membraantechnologie. De afgelopen jaren zijn diverse onderzoeken uitgevoerd naar de chemische en microbiologische kwaliteit van dit water.

In afbeelding 1 is het proces schematisch weergegeven. In de bovenste tank wordt afstromend water van het dak opgevangen, waarbij een eerste reiniging van grove bestanddelen wordt toegepast. Daarna passeert het water door middel van zwaartekracht een biofilter (Denutritor®) en een ultrafiltratie- (UF)-membraan. Het gezuiverde water wordt opgeslagen in de onderste tank. Direct voor gebruik passeert het water in de transportleiding nogmaals een UF-membraan als reinigungsstap.



Afbeelding 1. Schema Hemel(s)water installatie

### Pilotonderzoek in Nederland

In 2016 vond een eerste pilot plaats bij het Ecodorp Boekel. Initiële metingen werden uitgevoerd door het laboratorium van waterbedrijf Vitens. De pH was 7,0 (norm voor drinkwater:  $7,0 < \text{pH} < 9,5$ ); het geleidingsvermogen was zeer laag ( $25 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) en ver beneden de norm voor drinkwater ( $1.250 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Zink was met  $4,4 \text{ mg}/\text{l}$  boven de norm ( $3 \text{ mg}/\text{l}$ ) door het gebruik van zinken opvang en leidingen. Het koloniegetal bij  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  was  $1.000 \text{ kve}/\text{ml}$ , boven de norm ( $100 \text{ kve}/\text{ml}$ ), maar potentiële ziekteverwekkers, zoals *E. coli*, waren afwezig ( $0 \text{ kve}/100 \text{ ml}$ ).

Deze resultaten waren aanleiding voor uitgebreider onderzoek, gericht op verbetering van de kwaliteit van het water. De Topsector Water & Maritiem had hier geen belangstelling voor. De interesse uit deze sector kwam met name voort uit het feit dat regenwater een duurzaam alternatief voor proceswater zou kunnen zijn. De Topsector Energie daarentegen wel. De industriële sector neemt jaarlijks  $0,4 \text{ Gm}^3$  drinkwater af [3]. Een significant nationaal besparingspotentieel van elektriciteit, gas en chemicaliën zou haalbaar zijn.

Op twee locaties (Qrackers, een voedingsmiddelenbedrijf in Puiflijk en Carbogen Amcis, een (bio)farmaceutische bedrijf in Veenendaal) werden proefinstallaties geïnstalleerd. De UF-membranen waren van SUEZ Water Technologies & Solutions en PB-International. Het biofilter (Denutritor<sup>®</sup>) is in opdracht van Water Innovation Consulting door i3 Innovative Technologies vervaardigd. Bemonstering en analyses werden uitgevoerd door C-mark, een onderzoeks- en adviesbureau op het gebied van waterveiligheid en -kwaliteit.

De eerste resultaten gaven een pH te zien van 7,0. Na verloop van tijd daalde de pH tot 6,7-6,5. Een dergelijke pH is voor metalen leidingen ongewenst. Het vormt echter geen probleem omdat er geen metalen leidingen worden toegepast. Volgens de Wereldgezondheidsorganisatie is een optimale pH voor drinkwater 6,5-9,5 [10]. Het geleidingsvermogen was wederom laag ( $20\text{-}70 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Zink was met  $< 0,1 \text{ mg}/\text{l}$  ook ruim onder de norm. De waarden voor ammonium lagen, op één meting na, onder de norm voor drinkwater ( $0,20 \text{ mg}/\text{l}$ ). Het biofilter lijkt goed te functioneren. Recent onderzoek uitgevoerd door Wageningen University & Research, heeft aanvullend aangetoond dat de Denutritor<sup>®</sup> de ammoniumconcentratie verlaagt tot  $0,02 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{l}$ . De concentratie lood ligt met  $1,6 \mu\text{g}/\text{l}$  ver beneden de norm ( $10 \mu\text{g}/\text{l}$ ).

PAK's en pesticiden werden op twee verschillende tijdstippen op beide locaties gemeten. Voor PAK's werd zowel in regen als in het behandelde water op het eerste tijdstip minder dan  $0,1 \mu\text{g}/\text{l}$  en op het tweede tijdstip minder dan  $0,02 \mu\text{g}/\text{l}$  gemeten (norm:  $0,5 \mu\text{g}/\text{l}$ ). De concentraties pesticiden waren zowel bij de eerste als de tweede meting lager dan  $0,1 \mu\text{g}/\text{l}$ . Wat betreft pesticiden is dit beeld in overeenstemming met de inschatting van deze stoffen als laag relevant.

Het koloniegetal bij  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  gaf een gevarieerd beeld te zien en lag aanvankelijk boven de norm. *E. coli*, andere bacteriën van de coligroep en enterococci werden wel in regenwater aangetroffen, maar niet in het behandelde water. In verband met mogelijke microbiële nagroei in de opslagtank is besloten om vlak voor de tapkraan nog een UF-membraan te plaatsen. Deze techniek is toegepast bij een volgend pilotonderzoek bij The Green Village, de proeftuin voor duurzame innovaties op de campus van TU Delft. De microbiële waarden waren, in overeenstemming met de verwachting, allemaal beneden de norm (zie tabel 1).

Tabel 1. Microbiologische analyse van Hemel(s)water® (installatie bij The Green Village, Delft)

Koloniegetal bij 22 °C Gelijkwaardig aan NEN-EN-ISO 6222	<1 kve/ml	(norm: <100 kve/ml)
<i>Aeromonas</i> bij 30 °C Conform NEN 6263	<100 kve/100 ml	(norm: 1000 kve/ml)
Bacteriën van de coligroep (behalve <i>E. coli</i> ) conform NEN-EN-ISO-9308-1	0 kve/1000 ml	(norm: 0 kve/ml)
<i>E. coli</i> Conform NEN-EN-ISO 9308-1	0 kve/100 ml	(norm: 0 kve/100 ml)
Enterococcen conform NEN-EN-ISO 7889-2	0 kve/100 ml	(norm: 0 kve/100 ml)

De resultaten van deze onderzoeken hebben geleid tot een door keuringsinstituut Kiwa opgestelde ‘Declaration of design’ voor de Hemel(s)water-installatie. Deze installatie “voldoet aan de technische ontwerp-specificaties zoals opgesteld in deze verklaring, waarin de eisen van de Drinkwaterwet, de Drinkwaterregeling en het Drinkwaterbesluit worden toegepast om de kwaliteitsparameters te analyseren en te verzekeren dat het geproduceerde drinkwater aan de eisen voldoet”.

### Overige projecten

Naast het pilotonderzoek in Nederland zijn ook andere projecten gestart. Een voorbeeld hiervan is het EU Horizon 2020-project Brigaid bij de KU Leuven. In het kader van het programma Partners voor Water hebben de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland en het Netherlands Water Partnership in Tanzania een haalbaarheidsstudie uitgevoerd, gevolgd door een traject met meerdere pilots bij een ziekenhuis, een school, een glastuinbouwbedrijf, een technische hogeschool en een waterkiosk. De resultaten van deze onderzoeken zijn in lijn met het onderzoek in Nederland. Een haalbaarheidsstudie in de Mekongdelta (Vietnam) heeft ook een positief resultaat opgeleverd met mogelijk vervolgonderzoek in 2022. In Nederland is een industriële pilot gestart in het kader van het ‘Bundled Early Adapter Project’ op de Floating Farm (Rotterdam) om water voor koeien en proceswater voor zuivelprocessen te leveren. Om het zuiveringsproces verder te optimaliseren wordt onderzoek uitgevoerd in samenwerking met Wageningen University & Research, EMI Twente en IHE Delft. Een eerste installatie voor drinkwatergebruik wordt binnenkort geplaatst bij Camp & Surf Markermeer in Lelystad. Vitens zal een meetplan uitvoeren dat afgestemd wordt met de Inspectie Leefomgeving en Transport. Levering van drinkwater is onder deze condities wettelijk toegestaan. Ook zijn er plannen uitgewerkt om dit concept te integreren in een woning door het realiseren van opslag in de kruipruimte.

### Watermanagement en kosten

Watermanagementscenario’s zijn doorgerekend met een rekenmodel dat is ontwikkeld als onderdeel van het project De Infiltrerende Stad van de Hogeschool van Amsterdam, Hogeschool Rotterdam en de Hanzehogeschool Groningen. Met dit model is het mogelijk om een optimaal volume van de benodigde tanks in verhouding tot de gewenste of vereiste waterlevering te ontwerpen.

Voorlopige schattingen geven aan dat de ‘total cost of ownership’ vergelijkbaar is met de huidige kosten voor drinkwater in Nederland. Een dergelijke conclusie is ook eerder gerapporteerd voor regenwater als bron voor drinkwater [11].

### **Conclusie**

Hemel(s)water, onder de juiste condities opgevangen en met een biofilter en UF-membraantechnologie behandeld regenwater, zoals omschreven in de door Kiwa opgestelde ‘Declaration of Design’, voldoet aan de chemische en microbiologische parameters van het Drinkwaterbesluit. Het wordt klimaatneutraal geproduceerd zonder gebruik te maken van chemicaliën en energie. Het op deze wijze geproduceerde water kan worden toegepast als drinkwater, in de voedingsmiddelenindustrie en in de procesindustrie.

### **Dankbetuiging**

Dit onderzoek is mede uitgevoerd met subsidie van de Topsector Energie van het ministerie van Economische zaken en Klimaat, het EU-project Brigaid en het Partners voor Water-programma in Tanzania, in samenwerking met Carbogen Amcis, Qrackers, The Institute for Sustainable Process Technology (ISPT), i3 Innovative Technologies, Bastiaanse Communication, Kiwa, kennisnetwerk NL GUTS, KU Leuven, Hogeschool van Amsterdam, Floating Farm, C4I&S, IHE Delft, EMI Twente, PB-International, Wageningen University & Research, Asudele (consultant), RIL Solutions en The Green Village.

### **Literatuur**

1. Driezum, I. H. van et al. (2020). *Staat drinkwaterbronnen*. RIVM rapport 2020-0179.
2. CBS, PBL, RIVM, & WUR (2020). *Jaarlijkse hoeveelheid neerslag in Nederland, 1910-2019*. Gepubliceerd op Compendium voor de Leefomgeving (<https://www.clo.nl>).
3. CBS StatLine (2021). *Watergebruik bedrijven en particuliere huishoudens; nationale rekeningen*. <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/82883NED/table?dl=54DCA>, geraadpleegd november 2021.
4. Driezum, I. H. van, Aa, N. G. F. M. van der, & Berg, H. H. J. L. van den (2020). *Regenwater als alternatieve bron voor drinkwater – aandachtspunten voor kwaliteitscontrole*. RIVM briefrapport 2020-0185.
5. Compendium voor de leefomgeving (2012). *Gebruik van gewasbeschermingsmiddelen in de landbouw per gewas, 2012-2016*. <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0006-gebruik-gewasbeschermingsmiddelen-in-land--en-tuinbouw-per-gewas>, geraadpleegd november 2021.
6. Uitvoeringsprogramma Toekomstvisie gewasbescherming 2030. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2020/09/28/uitvoeringsprogramma-toekomstvisie-gewasbescherming-2030>, geraadpleegd november 2021.
7. Agenda Stad, 15 april 2016. *Hemel(s)water en BlueCity010 grote winnaars Challenge Stad van de Toekomst*. <https://agendastad.nl/hemelswater-en-bluecity010-grote-winnaars-challenge-stad-van-de-toekomst/>, geraadpleegd november 2021

8. Jansen, A.E. (2016). *A system and a method of providing drinking water*. Octrooi NL2016536, 3 april 2016.
9. Maas, P. van der, Veenendaal, G., Nonnekens, J., Brink, H., & Vogel, D. de (2020). 'Biologische actiefkoolfiltratie met zuurstofdoserings: veelbelovende technieken voor verwijdering geneesmiddelen?'. *H2O-Online*, 12 februari 2020.
10. WHO (2007). *pH in Drinking Water. Revised background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*.  
[https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwg/chemicals/ph\\_revised\\_2007\\_clean\\_version.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/chemicals/ph_revised_2007_clean_version.pdf), geraadpleegd november 2021.
11. Hofman-Caris, R., Waal, L. de, Brand, T. van den, Aa, R. van der, & Hoek J. P. van der (2018). 'Regenwater als bron voor drinkwater in Nederland: Weegt milieuwinst op tegen de kosten?' *H2O-Online*, 2 januari 2018