A network diagram consisting of various sized light blue circles connected by thin white lines, set against a solid blue background. The circles vary in size and are scattered across the page, with some larger circles acting as hubs.

KWR 2020.058 | Juni 2020

Urban Waterbuffer: Een integrale oplossing voor wateroverlast en droogte in de stad

Eindrapportage TKI-project Urban
Waterbuffer: samenvattend overzicht

TKI-samenwerkingspartners



Colofon

Urban Waterbuffer: Een integrale oplossing voor wateroverlast en droogte in de stad

Eindrapportage TKI-project Urban Waterbuffer: samenvattend overzicht

KWR 2020.058 | Juni 2020

Opdrachtnummer

401580

Projectmanager

Ir. Jan Willem Kooiman

Opdrachtgever

TKI Watertechnologie

Auteur(s)

Teun van Dooren MSc, ir. Anne Wietse Boer

Met medewerking van

Bert de Doelder (Gemeente Rotterdam), Wilrik Kok (Field Factors), Maarten Kuiper (Wareco)

Kwaliteitsborger(s)

Ir. Jan Willem Kooiman (opgenomen documenten hebben elk hun eigen kwaliteitsborging ondergaan)

Verantwoording

Deze activiteit is gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken en Klimaat met PPS-financiering uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) en uit bijdrages van de Gemeente Rheden, Gemeente Rotterdam en andere partners.

Keywords

Urban Waterbuffer, Ondergrondse opslag van hemelwater, wateroverlast, stedelijk water

Jaar van publicatie
2020

Meer informatie
Teun van Dooren MSc
T 030 6069563
E teun.van.dooren@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

Juni 2020 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Woord vooraf

Het TKI-project Urban Waterbuffer (2016-2020) heeft een groot aantal opbrengsten opgeleverd, in allerlei vormen. Het grote doel bij de start in 2016 was het opstellen van een Handreiking voor (toekomstige) initiatiefnemers, vooral op basis van praktijkonderzoek op verschillende locaties. Dat doel is zeker gehaald, zelfs meer dan dat. Naast alle opbrengsten, publiciteitsuitingen etc. in de afgelopen geeft dit rapport een samenvattend overzicht daarvan. Het bevat een Samenvatting van het gehele project, verwijzingen naar publiek toegankelijke rapportages en een aantal documenten die minder toegankelijk zijn.

Verdere info op de websites www.urbanwaterbuffer.nl, www.tkiwatertechnologie.nl/projecten en websites van de diverse partners.

Samenvatting project Urban Waterbuffer

Stedelijke gebieden hebben steeds vaker te maken met tijdelijke wateroverlast door intense neerslag of met watertekorten door langere perioden van droogte. Binnen het TKI-project Urban Waterbuffer (UWB) werkte een breed consortium van kennisinstituten, ingenieursbureaus, toeleveranciers, overheidsinstanties en eindgebruikers vanaf december 2016 samen om wateroverlast en watertekort in stedelijk gebied het hoofd te bieden. De UWB maakt het mogelijk om hemelwater dat valt in stedelijk gebied langer vast te houden, op te slaan in diepere watervoerende zandlagen, en eventueel later bij een watervraag terug te winnen en te hergebruiken. Zodoende draagt de UWB bij aan een duurzame, klimaatbestendige en veerkrachtige watervoorziening in stedelijk gebied. De werking van het systeem is gevalideerd met verschillende proefopstellingen, waarbij de hydrologische, hydrochemische en financiële impact in beeld zijn gebracht, en uitvoerig zijn gerapporteerd in rapporten. Uit het onderzoek blijkt dat de UWB daarnaast bijdraagt aan reductie van hittestress, het verbeteren van de ruimtelijke kwaliteit, en het vergroten van het waterbewustzijn.

Een klimaatbestendig stedelijk waterbeheer

Wateroverlast is een veelvoorkomend probleem in stedelijk gebied. Door het veelal verharde oppervlak stroomt water oppervlakkig af en kan het niet eenvoudig infiltreren naar de ondergrond. Het water stroomt via oppervlaktewaterlichamen en rioolstelsels weg uit het gebied, en is niet meer beschikbaar voor later hergebruik. In tijden van watertekort zijn stedelijke gebieden daardoor vaak afhankelijk van externe wateraanvoer. In een bebouwde omgeving is nauwelijks ruimte voor het opvangen en vasthouden van overtollig hemelwater, zodat het later kan worden hergebruikt, omdat dit kan leiden tot conflicten met andere bovengrondse functies.

Deze problematiek kan worden aangepakt door opvangen hemelwater middels grondwaterputten te infiltreren en op te slaan in diepere watervoerende lagen in de ondergrond, en later eventueel weer terug te winnen in tijden van een watervraag. Hiertoe is de zogenoemde Urban Waterbuffer (UWB) in het leven geroepen, waarbij hemelwater in het stedelijk gebied wordt opvangen, gezuiverd, in de ondergrond opgeslagen en teruggewonnen, zonder in conflict te komen met bestaande functies aan maaiveld. In dit TKI-project is onderzocht in welke mate de UWB een positief aandeel heeft in het voorkomen van wateroverlast en het verbeteren van de stedelijke watervoorziening, zodat dit breed kan worden toegepast voor een duurzamer, robuuster en klimaatbestendiger stedelijk waterbeheer.

Verkennde studies

In de eerste fase van het TKI-project Urban Waterbuffer (UWB) zijn voor vier cases (Rotterdam-Spangen, Rotterdam-hNI, Rheden en Den Haag) ter verkenning de locatie, waterbalans, het voorlopige ontwerp, en de verwachte kosten voor een daadwerkelijk aan te leggen UWB in beeld gebracht. Daaruit bleek dat er met name in Rotterdam-Spangen en Rheden op korte termijn een concrete bijdrage geleverd kan worden aan de afvoer van overtollig hemelwater en daarmee het voorkomen van wateroverlast.

Praktijkstudies

Vanaf eind 2017 tot medio 2018 zijn in Rheden en in de wijk Spangen in Rotterdam UWB's gerealiseerd waarmee praktijkstudies zijn uitgevoerd.

In Rheden stroomt hemelwater oppervlakkig van de Veluwezoom af richting de rijksweg, waar het water accumuleert en zorgt voor water-op-sstraat situaties bij de kruising van de Lentsesteeg-Arnhemsestraatweg. De

gerealiseerde UWB is hier uitgerust met drie infiltratiebronnen en eenvoudige voorzuiveringssystemen. Diepinfiltratie van afstromend hemelwater van ca. 11.000 m² oppervlak vindt plaats onder vrij verval.

De wijk Spangen had, ondanks de aanwezigheid van een gescheiden rioolstelsel, bij hevige neerslag last van water op straat. Daarnaast hadden wijkbewoners de wens om de openbare ruimte te vergroenen. Met voetbalclub Sparta was er ook een eindgebruiker aanwezig die veel drinkwater gebruikte, met name voor de beregening van het kunstgrasveld. Met de UWB wordt hemelwater, dat valt op het stadion en op het verharde oppervlak daaromheen, opgevangen in een tijdelijke buffer onder een Johan Cruijffcourt. Het vervuilde afstromende hemelwater wordt gezuiverd middels een natuurlijk zuiveringssysteem, en vervolgens geleidelijk geïnfiltrteerd in het eerste watervoerend pakket. Het opgeslagen hemelwater wordt later teruggewonnen voor het beregenen van het kunstgrasveld van Sparta en voor verkoeling via de waterzuil op het plein naast het stadion.

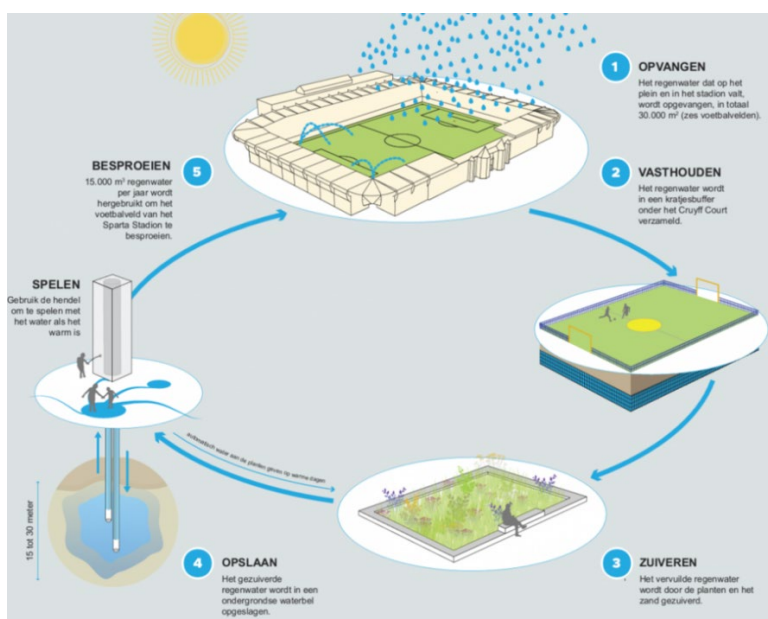
Uitgangspunten en verzameling van resultaten

Belangrijk uitgangspunt binnen het project was een intensieve monitoring van de prestatie van de UWB's wat betreft berging, zuivering en teruggewinning. Daarnaast kon een kosten-baten analyse niet ontbreken om socio-economische aspecten van een UWB te onderzoeken. Ten slotte is in stedelijk gebied de ruimtelijke inpassing van een UWB zeer belangrijk, waardoor ook dit aspect onmisbaar was in het onderzoek. De resultaten en ervaringen van de praktijkstudies zijn zodoende benut om de hydrologische, hydrochemische, economische en ruimtelijke impact van een UWB te onderzoeken.

Disseminatie van resultaten

Binnen het TKI-project is uitgebreid aandacht besteed aan het delen van de opgedane kennis en ervaring. Het gaat hierbij om de technisch wetenschappelijke resultaten van het project, maar ook om de praktische kennis en ervaring die is opgedaan over het realiseren van een UWB. De resultaten zijn gedeeld op een internationale conferentie, in diverse geschreven media, en via interviews voor radio en televisie (o.a. NPO radio 1, Radio Rijnmond en RTL Nieuws). Daarnaast zijn de proeflocaties bezocht door verschillende delegaties uit binnen- en buitenland, zoals uit Jakarta (Indonesië) en Surat (India).

In deze rapportage zijn de resultaten van het onderzoek gebundeld.



Figuur 1: Overzicht van het principe van de Urban Waterbuffer in Spangen, Rotterdam.

Inhoud

Colofon	2	
Woord vooraf	3	
Samenvatting project Urban Waterbuffer	4	
Inhoud6		
1	Overzicht kennisontwikkeling en disseminatie	7
1.1	Handreiking en Rapporten	7
1.2	Overige rapportages en schriftelijke uitingen	7
1.3	Uitingen via radio, online en geschreven media (selectie)	8
1.4	Presentaties, congresbijdragen en workshops	9
1.5	Bijzonderheden / prijzen	11
I	Flyer: Urban Waterbuffer	12
II	Artikel Land+Water: Urban Waterbuffer brengt de stad in waterbalans (2017)	14
III	Presentatie Opening Urban Waterbuffer (2018)	16
IV	Eindpresentatie Projectgroep: TKI-UWB (2019)	27
V	Proceedings ISMAR-10 (2019): Preventing pluvial flooding and water shortages by integrating local aquifer storage and recovery in urban areas.	57

1 Overzicht kennisontwikkeling en disseminatie

1.1 Handreiking en Rapporten

De Handreiking Urban Waterbuffer is beschikbaar via www.urbanwaterbuffer.nl. Daarop is een beschrijving van het project gegeven en zijn de meest relevante uitkomsten gepresenteerd.

In het kader van het TKI-project zijn tien rapporten verschenen. Deze zijn beschikbaar via de Handreiking en/of de online bibliotheek van KWR (<https://library.kwrwater.nl/>) en/of de website van TKI Watertechnologie www.tkiwatertechnologie.nl/projecten/urban-waterbuffer/.

Verkennde onderzoeken vier locaties

Er zijn Verkennde onderzoeken uitgevoerd op vier verschillende locaties. De rapporten zijn beschikbaar voor geïnteresseerden via de KWR-bibliotheek of de auteurs van deze Eindrapportage: Rotterdam-Spangen, Rheden, Rotterdam-hNI en Den Haag:

- **KWR2020.75A:** Urban Waterbuffer_Spangen Rotterdam_Verkennend Onderzoek_2017.
- **KWR2020.75B:** Urban Waterbuffer_Lentsesteeg Rheden_Verkennend Onderzoek_2017.
- **KWR2020.75C:** Urban Waterbuffer_het Nieuwe Instituut (nHI) Rotterdam_Verkennend Onderzoek_2017.
- **KWR2020.75D:** Urban Waterbuffer_Schilderswijk-Stationsbuurt Den Haag_Verkennend Onderzoek_2017.

Vergunningonderbouwend rapport Spangen

- **KWR2017.061:** Opzet en effecten ondergrondse waterberging Urban Waterbuffer Spangen Rotterdam

Praktijkproeven twee locaties

Op twee van de vier verkende locaties zijn praktijkproeven uitgevoerd en gerapporteerd:

- Spangen: **KWR2019.111** (<https://library.kwrwater.nl/publication/60494440/>);
- Rheden: **KWR2019.074** (<https://library.kwrwater.nl/publication/60976287/>).

Impactstudies vier aspecten

Op basis van de resultaten van de praktijkproeven zijn impactstudies verschenen over vier belangrijke aspecten:

- Impact waterkwaliteit: **KWR2019.110** (<https://library.kwrwater.nl/publication/60493987/>)
- Economische impact: (<https://library.kwrwater.nl/publication/60983641/>)
- Hydrologische impact: **BY40, NOT20200417** (<https://library.kwrwater.nl/publication/60982519/>)
- Ruimtelijke impact: (<https://library.kwrwater.nl/publication/60983560/>)

1.2 Overige rapportages en schriftelijke uitingen

Naast de publicaties zoals genoemd in par 1.1 zijn nog vijf rapportages en schriftelijke/mondelijke uitingen van belang die niet in eerdere definitieve rapporten zijn samengebracht in vijf bijlagen (zie tabel 1).

Tabel 1: Leeswijzer inhoudelijke verantwoording

Bijlage	Auteurs	Soort output	Titel	Pagina's
I	Zuurbier, K.G.	Flyer	Urban Waterbuffer	2
II	Zuurbier, K.G., Kok, W., Kuiper, M., Noome, W.	Artikel - Land+Water,	Urban Waterbuffer brengt de stad in waterbalans (september 2017)	2
III	Zuurbier, K.G., Kok, W., De Doelder, B., Kuiper, M.	Presentatie	Werking Urban Waterbuffer (Officiële opening UWB Spangen 20 juni 2018)	12 (23 shts)
IV	Zuurbier, K.G.	Presentatie	TKI-UWB Stand van Zaken (Eindpresentatie voor Projectgroep september 2019 met Algemeen; Pilot UWB Rheden; Pilot UWB Spangen)	30 (60 shts)
V	Zuurbier, K.G., De Doelder, B., Kok, W., Van Breukelen, B.	Artikel – Proceedings ISMAR10- congres.	Zuurbier, K.G., De Doelder, B., Kok, W., Van Breukelen, B. (2019). Preventing pluvial flooding and water shortages by integrating local aquifer storage and recovery in urban areas. ISMAR 10, Madrid, Spanje, 20-24 May 2019	9

1.3 Uitingen via radio, online en geschreven media (selectie)

- 1) Flyer Urban Waterbuffer, 21 november 2016: <http://ibiko.jp/wp-content/uploads/2016/12/Urban-Waterbuffer-flyer.pdf>
- 2) Algemeen Dagblad, Adrienne de Koning, 1 augustus 2017. Proef met regenwater bij Kasteel: <https://www.ad.nl/rotterdam/proef-met-regenwater-bij-kasteel~a684e1c1/>
- 3) Engineernet.be, Lydia Heida, 7 augustus 2017. Onderzoek naar ondergrondse opslag van zoet water: https://engineeringnet.be/belgie/detail_belgie.asp?Id=19147&titel=Onderzoek%20naar%20ondergrondse%20opslag%20van%20zoet%20water&category=nieuws
- 4) H2O waternetwerk, H2O Actueel, 27 februari 2018. Ondergrondse waterbuffer bij stadion van Sparta: <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/ondergrondse-waterbuffer-bij-spartastadion>
- 5) Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie, 21 maart 2018. Ondergrondse waterbuffer Spangen zorgt voor water om de grasmat van voetbalstadion Sparta te besproeien: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/@188786/waterbuffer-spangen/>
- 6) Algemeen Dagblad, Yvonne Keunen, 16 mei 2018. Interview met K.G. Zuurbier en R. Zwinkels - Nieuwe waterberging is buffer in natte en droge tijden voor Sparta: <https://www.ad.nl/rotterdam/nieuwe-waterberging-is-buffer-in-natte-en-droge-tijden-voor-sparta~af5e96cb/>
- 7) Open Rotterdam, 17 juni 2018. Spangen krijgt een waterbuffer en nieuwe Cruyff court: <https://www.openrotterdam.nl/spangen-krijgt-een-waterbuffer-en-nieuwe-cruyff-court/content/item?1087307>
- 8) Metro nieuws, 19 juni 2018. Ondergrondse waterbuffer voedt grasmat van Sparta: <https://www.metronieuws.nl/in-het-nieuws/binnenland/2018/06/ondergrondse-waterbuffer-voedt-grasmat-van-sparta/>
- 9) Evides, 21 juni 2018. Urban Waterbuffer Spangen officieel geopend: <https://www.evides.nl/over-evides/nieuws/2018/urban-waterbuffer-spangen-officieel-geopend>
- 10) YouTube, 21 juni 2018. Urban Waterbuffer - Spangen Rotterdam: <https://www.youtube.com/watch?v=aVGJJOAb9gw>
- 11) Codema, juni 2018. Slimme tuinbouwtechnologie voor Sparta Rotterdam: <https://codema.nl/nl/cases/slimme-tuinbouwtechnologie-voor-sparta-rotterdam/>

- 12) NPO Radio 1, Suzanne Bosman, 20 augustus 2018. Interview met K.G. Zuurbier over de Urban Waterbuffer in Spangen: https://twitter.com/Zuurbier_Koen/status/1032704698954985475
- 13) H2O waternetwerk, H2O Actueel, 4 oktober 2018. Twaalf inzendingen genomineerd voor Waterinnovatieprijs: <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/twaalf-inzendingen-genomineerd-voor-waterinnovatieprijs>
- 14) ZAPP – De Buitendienst, 9 november 2018. Extreme regen, wat doe je er tegen?: <https://www.youtube.com/watch?v=9wOvbPpWBfU&feature=youtu.be&t=183>
- 15) Volkskrant, René Didde, 8 december 2018, Interview met K.G. Zuurbier - Sparen voor de droogte: gebruik de bodem als watertank: <https://www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/sparen-voor-de-droogte-gebruik-de-bodem-als-watertank~b173286d/>
- 16) RTL-nieuws, 2 mei 2020. Regenwater wordt opgevangen en opgeslagen (vanaf 11:38): <https://www.rtlnieuws.nl/video/uitzendingen/video/5110031/rtl-nieuws-1930-uur>
- 17) Bouwend Nederland, Kok. W., 30 juni 2020, Bouw moet antwoorden formuleren op extreem weer, <https://www.bouwendnederland.nl/actueel/nieuws/12815/bouw-moet-antwoorden-formuleren-op-extreem-weer>
- 18) DGBC toekomstbouwers, Kok. W., 6 juli 2020, Regenwater hergebruiken op een optimale manier in de stad, <https://dgbcfoleon.com/toekomstbouwers-2020-1/toekomstbouwers-2020-1/delft-als-innovatieknooppunt/overlay/field-factors/>
- 19) Handel met Spanje, Peña. K., 7 juli 2020, Nederlandse innovatie maakt voetbalstadion Valladolid klimaatbestendig <https://www.handelmetspanje.com/nl/news/nederlandse-innovatie-maakt-voetbalstadion-valladolid-klimaatbestendig/>
- 20) Natural Assurance Value of Nature-based Solutions for mitigating water related natural hazards (Lopez Gunn), Dartée, Biffin, Peña (2020) De kansen en uitdagingen voor stedelijke NBS: lessen uit de geïmplementeerde Rotterdam DEMO in het boek

1.4 Presentaties, congresbijdragen en workshops

Presentaties

- 1) Dartée, K. Aquatech Amsterdam, Presentatie op conferentie, 5 november 2019
- 2) Doelder, B. de, Kok, W. (2018). Urban Waterbuffer Spangen – Voortgangsoverleg consortium, 2 februari 2018.
- 3) Doelder, B. de (2018). Urban Waterbuffer – Stadswerker Gemeente Rotterdam, 11 april 2018.
- 4) Doelder, B. de (2018). UWB: Waarom een waterberging – Opening UWB Spangen, Rotterdam, 20 juni 2018.
- 5) IHE Zomercursus NAIAD / NBS, Rondleiding bij het eerste UWB-systeem in Rotterdam, 1 augustus 2019
- 6) Kok, W. (2017). TKI Urban Waterbuffer – Casestudy Spangen, Ruimtelijke inpassing, 16 januari 2017.
- 7) Kok, W. (2017). TKI Urban Waterbuffer - Casestudy Spangen, Inpassing MUW, 13 februari 2017.
- 8) Kok, W., Zuurbier, K. (2019). Urban Waterbuffer: Een circulaire oplossing voor klimaatbestendig waterbeheer, Provincie Zuid Holland, april 2019.
- 9) Kok, W., Klimaatkrachtig Delfland, Presentatie op het symposium, 25 juni 2019
- 10) Kuiper, M., Kok, W., De Doelder, B., Zuurbier, K.G. (2017). Urban Waterbuffer brengt de stad in waterbalans, Water in de openbare ruimte, Houten, 9 november 2017.
- 11) Kuiper, M. (2018) Klimaatadaptatie: de bedreigingen én kansen bevinden zich vooral ónder onze voeten, Klimaat event West-Friesland, Enkhuizen, 4 juli 2018
- 12) Kuiper, M. (2018). Klimaatadaptatie: de bedreigingen én kansen bevinden zich vooral ónder onze voeten, Vakbeurs Klimaat, Houten, 8 november 2018.

- 13) Kuiper, M. (2019) Hot town, *droogte* in the city, VolkerWessels innovatiefestival, Utrecht, 11 april 2019
- 14) Kuiper, M. (2019) Samenwerken in het grondwater Noord Kennemerland Noord, Castricum, 28 november 2019
- 15) Kuiper, M. (2020) Urban Waterbuffer, brengt stad in waterbalans, klimaatexpo Brussel, Brussel, 6 augustus 2020
- 16) Moed, R., Zuurbier, K.G., Noome, W. (2017). Informatiebijeenkomst hemelwateroverlast Arnhemsestraatweg/Lentesteeg, gemeente Rheden, 3 mei 2017.
- 17) Nationaal symposium klimaatadaptatie, Locatiebezoek & presentatie van UWB concept, 13 juni 2019.
- 18) Paalman, M., Kok, W. (2019). Urban Waterbuffer, overschot en tekort in balans - Nationale Watertechnologie Week, Gorinchem, 19-21 maart 2019.
- 19) Snoek, M., StadxKlimaat, Deelname en presentatie aan ontwerpend onderzoek programma, juni 2019
- 20) Zuurbier, K.G., Kooiman, J.W. (2016). Urban Waterbuffer – Startoverleg Projectgroep, KWR, Nieuwegein, 18 oktober 2016.
- 21) Zuurbier, K.G. (2016). TKI Urban Waterbuffer – Locatiebezoek Spangen, Rotterdam, 11 november 2016.
- 22) Zuurbier, K.G. (2016). Expert Meeting Urban Waterbuffer, KWR, Nieuwegein, 13 december 2016.
- 23) Zuurbier, K.G. (2017). UWB Spangen, Het Kasteel, Spangen, Rotterdam, 19 januari 2017
- 24) Zuurbier, K.G. (2017). ASR en wateroverlast in de stad, 28 februari 2017.
- 25) Zuurbier, K.G., Kooiman, J.W. (2017). Urban Waterbuffer - Voortgangsoverleg projectgroep, KWR, Nieuwegein, 18 april 2017.
- 26) Zuurbier, K.G. Kok, W., De Doelder, B., Kuiper, M. (2018). Werking Urban Waterbuffer - Opening Urban Waterbuffer Spangen, Rotterdam, 20 juni 2018.
- 27) Zuurbier, K.G. (2018). Urban Waterbuffer brengt de stad in waterbalans, Cromvliet, Den Haag, 20 december 2018.
- 28) Zuurbier, K.G. (2019). Urban Waterbuffer (eerste resultaten tot februari). Spangen, Rotterdam, 21 februari 2019.
- 29) Zuurbier, K.G. (2019). TKI-UWB Stand van Zaken, september 2019.

Congresbijdragen

- 1) Zuurbier, K.G., Doelder, B. de, Kok, W., Van Breukelen, B. (2019). Preventing pluvial flooding and water shortages by integrating local aquifer storage and recovery in urban areas. ISMAR 10, Madrid, Spanje, 20-24 May 2019.

Workshops

- 1) Een klimaatbestendige stad, maar natuurlijk! 3 december 2019 (13:00 – 17:00), Westervolkshuis, Rotterdam.
- 2) NAIAD – TKI Urban Waterbuffer, mei 2019 (12:00 – 17:00), Westervolkshuis, Rotterdam.
- 3) NAIAD – TKI Urban Waterbuffer, Stakeholder workshop, 1 maart 2018 (12:30 – 16:00), De Bouwcampus, Delft.

1.5 Bijzonderheden / prijzen

- 1) Klimaatadaptatie Challenge van de provincie Zuid-Holland en VPdelta, gewonnen door Field Factors voor de Bluebloqs technologie als onderdeel van de Urban Waterbuffer, 24 september 2018:
<https://www.kwrwater.nl/actueel/field-factors-wint-eerste-prijs-met-urban-waterbuffer/>
- 2) Nominatie voor de Waterinnovatieprijs 2018 van de Unie van Waterschappen, in de categorie 'Voldoende Water', 4 oktober 2018: <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/twaalf-inzendingen-genomineerd-voor-waterinnovatieprijs>
- 3) NENnovation Awards, Deelname aan challenge voor innovaties die de lancering van nieuwe nationale normen en standaarden vereisen, September 2019
- 4) Urban Waterbuffer Spangen opgenomen in De Bosatlas van de duurzaamheid (pagina 83), 17 oktober 2019:
<https://www.bosatlas.nl/voor-iedereen/de-bosatlas-van-de-duurzaamheid>

I Flyer: Urban Waterbuffer



URBAN WATERBUFFER

Contactpersoon:

Koen Zuurbier

E: koen.zuurbier@kwrwater.nl

T: +31 30 6069 666

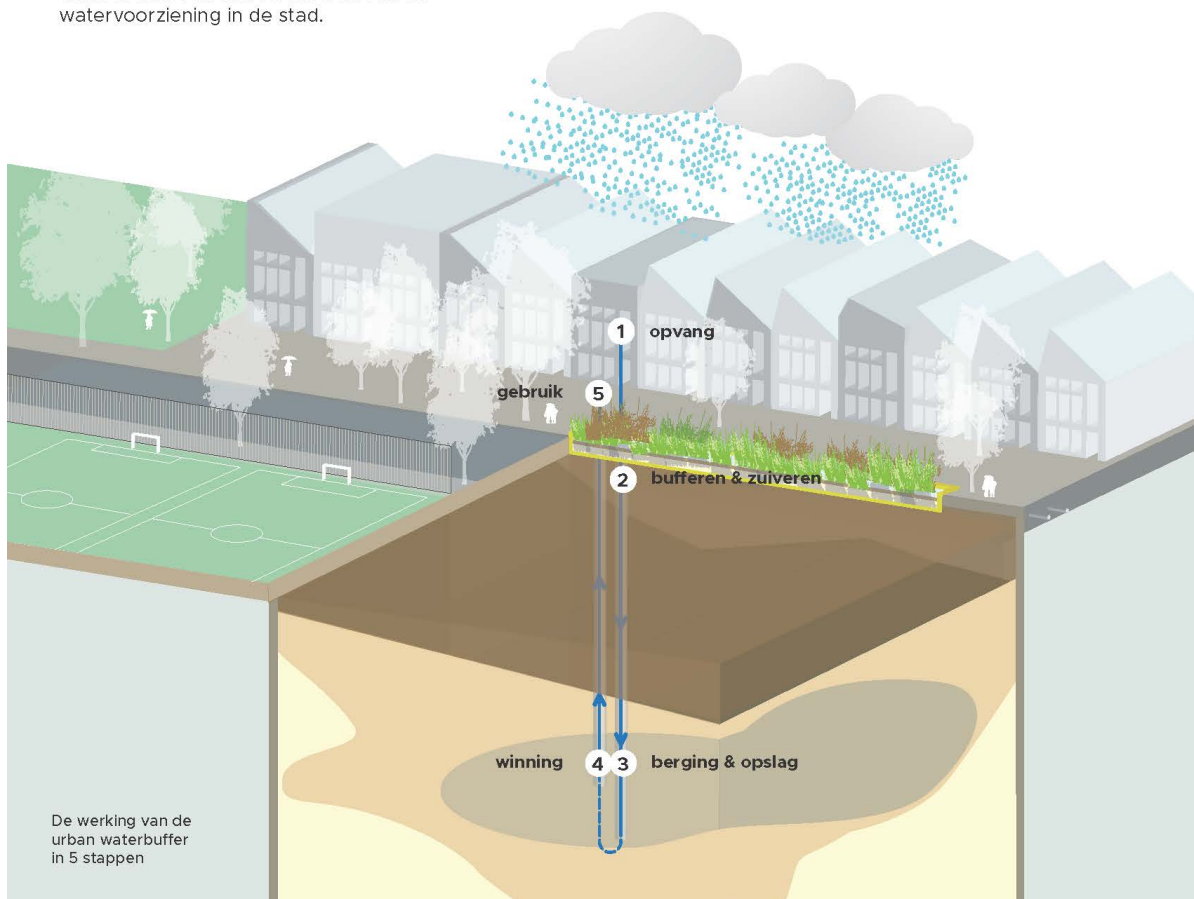
W: www.urbanwaterbuffer.nl

Stedelijke gebieden hebben steeds vaker te maken met wateroverlast door intense neerslag en watertekorten door langere droogte. De huidige oplossingen zijn gericht op afvoer en aanvoer en zijn vaak kostbaar en niet duurzaam. Retentie en infiltratie in de stad is daarom nodig om overschotten snel te kunnen opvangen, langere tijd vast te houden en te gebruiken.

De noodzakelijke ruimte voor retentie en infiltratie in stedelijk gebied is doorgaans echter schaars, wat leidt tot conflicten met andere bovengrondse functies en/of kostbare oplossingen. Met de Urban Waterbuffer wordt gestreefd om het regenwater in stedelijk gebied te zuiveren en langer vast te houden, zonder te conflicteren met functies aan maaiveld. Hiervoor worden diepere watervoerende lagen gebruikt voor infiltratie, opslag en winning van hemelwater via putten. Het idee is om te onderzoeken of de Urban Waterbuffer een significante positieve bijdrage aan het voorkomen van wateroverlast en het verbeteren van de watervoorziening in de stad.

In het project wordt onderzocht of en hoe de Urban Waterbuffer kan worden toegepast in het 'stedelijk gebied' en wat de hydrologische, chemische, en financiële impact van de Urban Waterbuffer is. Hiervoor worden vier cases nader uitgewerkt in Rotterdam, Rheden en Den Haag. Op twee locaties worden vervolgens proefopstellingen gerealiseerd en gemonitord.

Het project beoogt de potenties van de Urban Waterbuffer te kwantificeren, te documenteren en de lessen uit de eerste toepassingen om te zetten naar realistische, heldere toepassings- en ontwerpaanbevelingen in een handreiking. Hiermee wordt een gids geboden voor geïnteresseerde eindgebruikers, adviseurs en toeleveranciers. Daarnaast wordt een smart control system ontwikkeld voor aansturing en monitoring ten behoeve van het beheer van de Urban Waterbuffer.





Spangen Rotterdam (Sparta)

Het opvangen, opslaan en gebruiken van hemelwater heeft in de wijk Spangen toegevoegde waarde:

- Sparta gebruikt momenteel 5.000 – 10.000 m³ per jaar drinkwater voor het beregenen;
- De wijk Spangen heeft een tekort aan waterberging: bij hevige neerslag is er overlast;
- De watergang langs de Spaanse Bocht wordt aangevuld met voedselrijk water uit de Schie. Aanvullen met voedselarm, koud hemelwater zou een verbetering zijn.

Beoogd wordt om zo'n groot mogelijk oppervlak rond het stadion af te koppelen, te zuiveren, en te infiltreren voor latere beregening vanuit de bron. Hier zijn mogelijkheden voor een showcase en koppeling met sociale projecten in de wijk.



Schilderswijk Den Haag

De Schilderswijk is een wijk met een hoog verhardingspercentage en dus veel regenwaterafvoer. De grondwaterstand is er nu (in het algemeen) nog voldoende laag, maar door ontwikkelingen zoals de stopzetting van de DSM-onttrekking en klimaatverandering stijgen de grondwaterstanden. Er ontstaat dus een duidelijke wateropgave. Er is echter weinig oppervlaktewater aanwezig en er is feitelijk geen andere afvoermogelijkheid dan een gemengd rioolstelsel. De wijk heeft een extra optie als afvoermogelijkheid nodig. Gezien de grote afstanden tot oppervlaktewater, ligt de bodem als afvoermogelijkheid voor de hand. Onduidelijk is nog hoe de ondergrond kan worden benut ten behoeve van de wateropgave in de bovengrond en of zich er kansen voordoen ten aanzien van het gebruik van water in droge periodes.



Lentsesteeg Rheden

De Lentsesteeg in Rheden is een weg die vanaf de Veluwe naar de Arnhemsestraatweg loopt. Door het grote hoogteverschil tussen het begin van de steeg en de Arnhemsestraatweg stroomt het hemelwater vanaf de Veluwe snel richting de kruising. Op de kruising is het aanwezige gemengde riool niet berekend op een dergelijke hoeveelheid hemelwater. Tegelijkertijd is de kruising ook het laagste punt van de Arnhemsestraatweg waardoor ook hemelwater van andere richting naar dit punt stromen. Er ontstaat daardoor regelmatig wateroverlast. Door de geringe openbare ruimte is te weinig ruimte aanwezig voor het oppervlakkig infiltreren van het hemelwater. Infiltratie in de diepere ondergrond biedt hiervoor een alternatief.



Het nieuwe instituut (hNI) Rotterdam

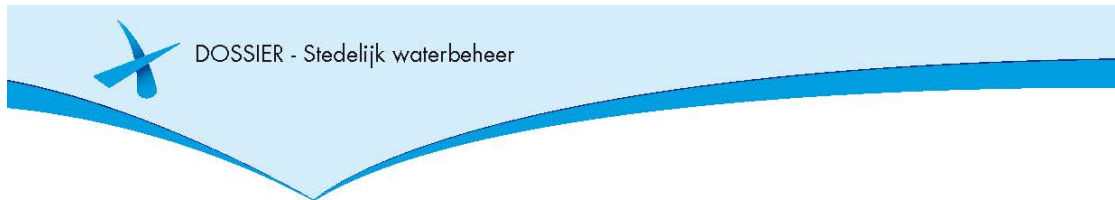
In het museumpark te Rotterdam is er de wens om het gebied te vergroenen. Eén van de groenonderdelen is de huidige waterpartij, zo'n 3.000 m² groot, liggend aan het Nieuwe Instituut. De waterpartij is geen onderdeel van het watersysteem van de omgeving; het is een grote, ondiepe vijver en met folie bekleed. Dit geeft een onnatuurlijke uitstraling en in de zomermanden leidt de vijver onder algenbloei. Daarnaast moet de vijver zomers regelmatig worden bijgevoerd met drinkwater en heeft dit deel van Rotterdam behoefte aan meer waterberging om wateroverlast te voorkomen. Beoogd wordt om de vijver als tijdelijke opvang van neerslag in te zetten en via de UWV op het gewenste peil te houden.

BETROKKEN PARTIJEN



Deze activiteit is mede gefinancierd uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het ministerie van Economische Zaken.

II Artikel Land+Water: Urban Waterbuffer brengt de stad in waterbalans (2017)



DOSSIER - Stedelijk waterbeheer

Urban Waterbuffer brengt de stad in waterbalans

De Urban Waterbuffer (UWB) is een ruimtelijk inpasbaar concept om het regenwater in stedelijk gebied te zuiveren en langer in de ondergrond vast te houden om het op een later moment te gebruiken. De stedelijke watervoorziening wordt hiermee verduurzaamd en de hemelwaterbalans kan zelfs worden gesloten.

Een consortium onderzoekt de kansen voor de Urban Waterbuffer (UWB) in vier verschillende stedelijke gebieden. Hier zijn de mogelijkheden onderzocht en is de ruimtelijke inpassing ontworpen om een beslissing te nemen over te realiseren veldproeven. Stedelijke gebieden hebben steeds vaker te maken met wateroverlast en watertekorten. Retentie en infiltratie in de stad is nodig om regenwater snel te kunnen opvangen en voor een langere tijd vast te houden om op een later moment te gebruiken. De ruimte in de stad is echter beperkt en infiltratie wordt steeds vaker belemmerd door verstening, hoge grondwaterstanden en/of een slechte waterdoorlatende bodem (klei, veen). Daarom wordt het benutten van diepere watervoerende zandlagen voor infiltratie, opslag en winning van hemelwater via grondwaterputten steeds interessanter. De UWB lijkt veelbelovend bij een lokale vraag naar 'zoet water', zoals bij irrigatie, stadsteining, suppletie van vijvers, actief grondwaterpeilbeheer en in hellend en/of in versteend stedelijk gebied of waar nauwelijks oppervlakte

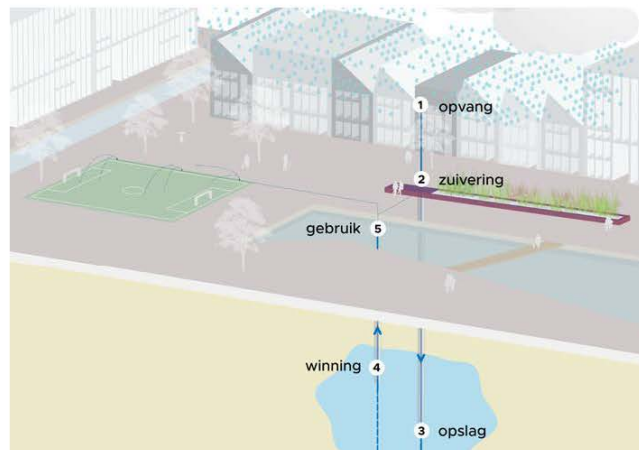
IN 'T KORT - Urban Waterbuffer

Een consortium onderzoekt de kansen voor de Urban Waterbuffer (UWB)

De UWB zuivert regenwater en houdt het langer in de ondergrond voor later

Er wordt onderzocht of en hoe de UWB kan worden toegepast in stedelijk gebied

Naar aanleiding van de voorlopige resultaten worden proefopstellingen gemaakt



Het principe van Urban Waterbuffer: het benutten van diepere watervoerende zandlagen voor infiltratie, opslag en winning van hemelwater via grondwaterputten.

te water aanwezig is. De schaalgrootte kan hierbij variëren van een enkel gebouw tot een gehele wijk.

Onderzoek

Er wordt onderzocht of en hoe de UWB kan worden toegepast in stedelijk gebied. Verschillende locaties in Den Haag, Rheden en Rotterdam dienen als casestudies waarbij de ruimtelijke inpassing en de hydrologische, chemische en financiële impact in beeld worden gebracht. Als eerste is daarbij de lokale wateropgave vastgesteld, waarna voorlopige ontwerpen zijn uitgewerkt en de hydrologische en financiële haalbaarheid is gekwantificeerd. Naar aanleiding van de voorlopige resultaten worden in Rheden en in Rotterdam, respectievelijk in 2017 en 2018, proefopstellingen gerealiseerd. Er zal op basis van de uitkomsten van deze veldproeven inzicht worden verkregen in de werkelijke impact van de UWB op de stedelijke wateropgave.

'Hellend' regenwater

De bewoners en het verkeer rondom de kruising van de Lentsesteeg met de Arnhemsestraatweg in Rheden ondervinden overlast door water-op straat. Dit ontstaat enerzijds door afstromend hemelwater uit hellend

gebied (de Veluwezoom) en anderzijds door een beperkte capaciteit van het riool. Met de gemeente Rheden is geconcludeerd dat een pakket aan maatregelen noodzakelijk is. Zo moet water bovenstrooms (in de hoger gelegen gebieden) worden vastgehouden en naar infiltratiekuilen geleid, terwijl ook op particuliere terreinen het hemelwater wordt vasthouden en geïnfilteerd, onder andere met wadi's. Het resterende hemelwater wordt op de kruising van de Arnhemsestraatweg en de Lentsesteeg via een UWB geïnfilteerd. Doordat het hemelwater met hoge snelheid vanaf het hellende gebied toestroomt, worden zand en bladeren meegevoerd en ligt putverstopping op de loer. Daarom worden drie verschillende gradaties van voorzuivering getest en wordt het functioneren van drie daaraan gekoppelde grondwaterputten in een veldproef gemonitord. Ook wordt gemonitord hoeveel water-op straat na de maatregelen nog resteert. Zo kan de UWB, indien nodig, doelmatig worden uitgebreid. De UWB Rheden zal in 2017 gerealiseerd worden.

Drinkwater besparen

Bij hevige regen is er rondom het Sparta Stadion (Spangen) en het Museumpark (Centrum Rotterdam) sprake van wateroverlast.

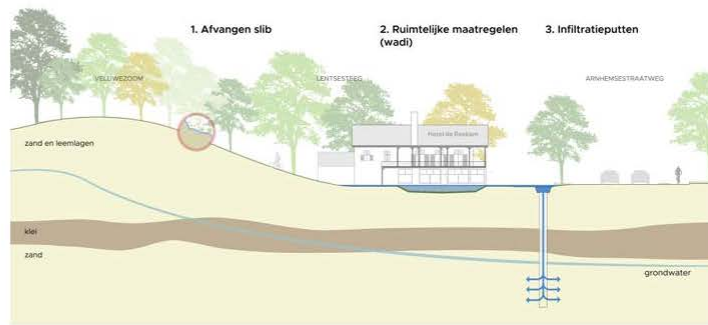
dr. K. Zuurbier / W. Kok, MSc / ir. W. Noome / drs. M. Kuiper

Ook is er een aanzienlijke watervraag voor respectievelijk de irrigatie van het sportveld en de suppletie van de vijver bij Het Nieuwe Instituut (HNI). Voor beiden wordt nu drinkwater gebruikt.

Voor beide locaties is een geavanceerde, geautomatiseerde variant van de UWV ontworpen. Het hemelwater wordt bij het Sparta Stadion voor korte tijd vastgehouden in een buffer van kratjes en bij het HNI in de vijver door een variabel peil. De noodzakelijke voorzuivering wordt door middel van het ruimtelijk inpasbare Micro Urban Wetlands (MUW) bewerkstelligd. Vervolgens wordt de infiltratie onder zwaartekracht via een voordrukbus gerealiseerd. Bij een watervraag, of langere perioden van droogte, kan het water met bronpompen uit de ondergrond worden teruggewonnen en direct worden geleverd. Met deze oplossing kan 50 mm neerslag direct worden opgevangen en binnen 24 tot 48 uur worden geïnfilteerd. Doordat de kosten van het geleverde UWV-water aan het sportveld en de vijver ongeveer gelijk zijn aan de kosten voor drinkwater, kan de UWV naar verwachting kostenneutraal worden bedreven en onderhouden. De UWV Spangen zal in 2018 gerealiseerd worden als veldproef. Het functioneren van de voorzuivering, het noodzakelijke beheer, de ontwikkeling van de chemische en de microbiologische waterkwaliteit zullen aandachtspunten zijn. Inzicht in de waterkwaliteit tijdens infiltratie, opslag en winning is relevant om de impact op de grondwaterkwaliteit en de geschiktheid voor later gebruik vast te stellen.

Voorkomen grondwateroverlast

In de Haagse Schilderswijk is de grondwaterstand er nu nog voldoende laag om schade aan gebouwen te voorkomen. Door ontwikkelingen zoals het reduceren van de DSM-onttrekking en klimaatverandering stijgen de grondwaterstanden lokaal tot boven streefwaarden. Drainage kan soelaas bieden, maar



Overzicht verschillende maatregelen voor Rheden.

door de afwezigheid van oppervlaktewater is er geen andere afvoermogelijkheid dan een gemengd rioolstelsel. Om extra belasting van de afvalwaterzuivering te voorkomen, biedt een nieuwe, duurzame optie voor de afvoer van grondwater meerwaarde, bijvoorbeeld via diepere ondergrond met de UWV. Er is een verkenning uitgevoerd van het (op termijn) inzamelen van ondiep grondwater met horizontale drains en afvoer via verticale putten naar grotere diepte. Berekend is dat in de wijk (150 ha) circa tien à vijftien verticale putten nodig zijn om de (toekomstige) grondwateropgave van 3.500 m³/dag te verwerken. Verstopping van filters door ijzereerslagen is een aandachtspunt. Mogelijke maatregelen zijn het voorkomen van indringing van zuurstof of juist het beluchten en zuiveren via een MUW zoals in Rotterdam. De geraamde kosten voor het aanleggen van drainage en de UWV blijken meer dan een factor 2 lager te zijn dan de geraamde kosten voor de openbare ruimte en het repareren van potentiële schade aan panden. Het kan dus een doelmatige oplossing bieden. Stedelijke, mobiele grondwaterverontreinigingen kunnen in deze opzet echter beperkend zijn.

Uitvoerders

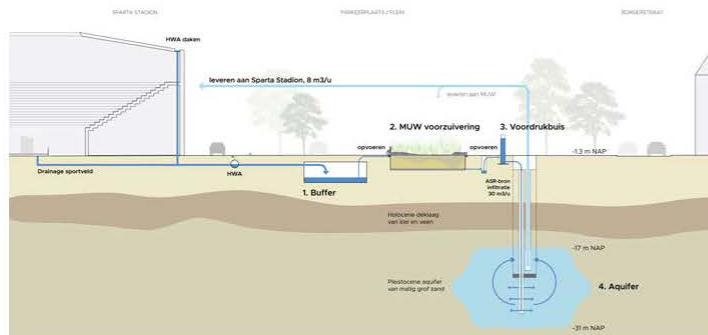
Dit project wordt uitgevoerd door KWR Watercycle Research Institute, Wareco ingenieurs, Field Factors en Codema/B-E De Lier, Evides Waterbedrijf, gemeente Rotterdam, gemeente Den Haag, gemeente Rheden, Hoogheemraadschap van Delfland, Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, Stowa en Stichting Rioned. Deze activiteit is mede gefinancierd uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het ministerie van Economische Zaken.

Van theorie naar praktijk

Op basis van de resultaten uit het lopende onderzoek is gebleken is dat UWV een waardevol concept kan zijn om stedelijk gebied klimaatbestendig te maken en de stedelijke hemelwaterbalans te sluiten. De UWV biedt de meeste meerwaarde wanneer er een bijdrage aan de lokale watervoorziening kan worden geleverd (Rotterdam) en/of wanneer de beschikbare bovengrondse ruimte zeer beperkt is (Rheden). Komend jaar worden op twee locaties proefopstellingen gerealiseerd en worden de bedrijfsvoering en de waterkwaliteit minimaal één jaar uitgebreid gemonitord. Daarnaast zullen ook de kwalitatieve en kwantitatieve effecten op het watersysteem, de ruimtelijke inpassing en het noodzakelijke beheer worden gekwantificeerd. De resultaten zullen na afronding van het project door middel van een handreiking beschikbaar komen.

Meer informatie: www.urbanwaterbuffer.nl

Koen Zuurbier werkt bij KWR Watercycle Research Institute; Wilrik Kok bij Field Factors; en Maarten Kuiper en Wilmer Noome beiden bij Wareco.



De Urban Waterbuffer Spangen zal in 2018 gerealiseerd worden als veldproef.

III Presentatie Opening Urban Waterbuffer (2018)

TKI Watertechnologie

Werking Urban Waterbuffer

TOPSECTOR WATER

Koen Zuurbier – KWR
Wilrik Kok – Field Factors
Bert de Doelder – Gem Rotterdam
Maarten Kuiper – Wareco

Den Haag
gemeente Rheden
CODEMA B-E DE LIER
wareco INGENIEURS
Field Factors
KWR
Stichting RIONED
Hoogheemraadschap van Delfland
stowa
evides

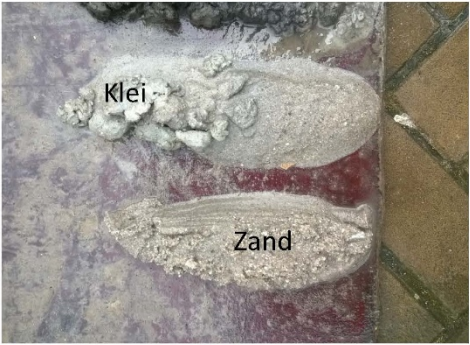
TKI WATERTechnologie SMART WATER SYSTEMS RESOURCE EFFICIENCY SUSTAINABLE OTIES

EEN KORT VERHAAL OVER
'GRONDWATER'

Waterwin-gebied
Bodemverontreiniging
direct melden
tel: 026-3599999


TKI Watertechnologie

TKI WATERTechnologie SMART WATER SYSTEMS RESOURCE EFFICIENCY SUSTAINABLE CITIES

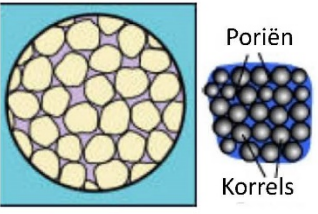


- **Ondergrond =**
 - vaste stof (korrels, plantresten)
 - grondwater
- **Nederland:**
 - Grind, zand, klei, veen
 - Zoetwater, zoutwater, brakwater

De ondergrond: hoe zit dat?




TKI WATERTechnologie SMART WATER SYSTEMS RESOURCE EFFICIENCY SUSTAINABLE CITIES



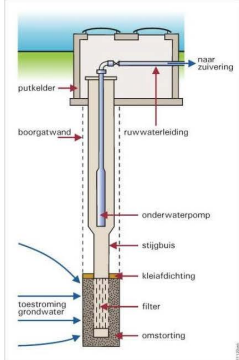
- **Los zand/grind NL: 25 – 35% water**
 - Water kan zich eenvoudig tussen de korrels door verplaatsen!
- Dat kan niet/nauwelijks bij klei, veen

De ondergrond: hoe zit dat?




TKI Watertechnologie

TKI WATERTECHNOLOGIE
SMART WATER SYSTEMS
RESOURCE EFFICIENCY
SUSTAINABLE CITIES

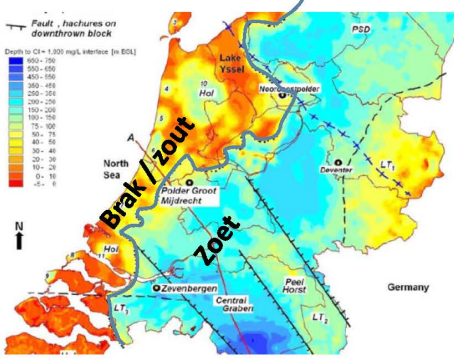


- Los zand/grind NL: 25 – 35% water
- Water kan zich eenvoudig tussen de korrels door verplaatsen
- Waterputten als connectie met grondwater
- Spangen: ca. 15 – 27 m diepte

De ondergrond: hoe zit dat?




TKI WATERTECHNOLOGIE
SMART WATER SYSTEMS
RESOURCE EFFICIENCY
SUSTAINABLE CITIES



Nederland:

- Opeenstapeling grind, zand, klei, veen
- Zoetwater, brakwater, zoutwater

De ondergrond: hoe zit dat?



TKI Watertechnologie

TKI WATERTechnologie
SMART WATER SYSTEMS
RESOURCE EFFICIENCY
SUSTAINABLE CITIES

© 2007 Thomson Higher Education

EFFECTS OF OVERPUMPING AQUIFERS

- Leidt onder **verzilting en verdroging**: te veel grondwater wordt onttrokken!
- Ideaal voor **opslag zoetwater**
 - Grote capaciteit, beperkt ruimtebeslag
 - Kwaliteit blijft behouden
 - Afbraak virussen, bacteriën
 - Winning en aanvulling in balans

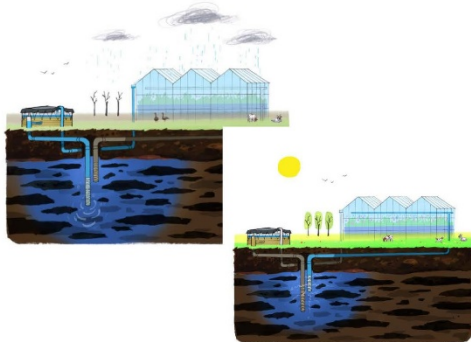
De ondergrond

TKI WATERTechnologie
SMART WATER SYSTEMS
RESOURCE EFFICIENCY
SUSTAINABLE CITIES

BETER OMGAAN MET
(GROND)WATER

TKI Watertechnologie

TKI WATERTechnologie
SMART WATER SYSTEMS
RESOURCE EFFICIENCY
SUSTAINABLE CITIES




(van tijdelijke overschotten)

Aquifer storage and recovery (ASR)

↑ Zand, grind ↑ Opslag (na infiltratie) ↑ Terugwinning (bij watervraag)

Ondergrondse waterberging: essentiële brug tussen aanbod en vraag



TKI WATERTechnologie
SMART WATER SYSTEMS
RESOURCE EFFICIENCY
SUSTAINABLE CITIES



Proces:

1. Verzamelen / vasthouden regenwater
2. Zuiveren: verwijderen vuil en verontreinigingen
3. Opslag in zandlaag met brak grondwater ('bel')
4. Terugwinning met dezelfde grondwaterput
5. Gebruik voor stedelijke doeleinden (niet-drinkwater)

URBAN WATERBUFFER: DE STEDELIJKE ASR

TKI Watertechnologie



This section discusses the challenges of implementing urban water buffers. It includes a photograph of a storm drain grate and a cross-section diagram of a building with a water buffer underneath. The diagram shows water being collected and stored in a tank below the ground level.

UITDAGINGEN IN DE STAD

Onzekerheden:

- Functioneren voorzuivering
- VERSTOPPINGEN VOORKOMEN
- Kosten realisatie
- Levensduur verschillende elementen
- Noodzakelijk onderhoud, beheer (kosten)


Inpassing:

- Schaarse ruimtes (kabels, leidingen, parkeren)
- Gebiedsvisies, stakeholders
- Vandalisme


Daarom onderzoek TKI

TKI Watertechnologie

TKI WATERTechnologie
SMART WATER SYSTEMS
RESOURCE EFFICIENCY
SUSTAINABLE CITIES



Gemeente Rheden (Veluwezoom)



Gemeente Rotterdam (Spangen)

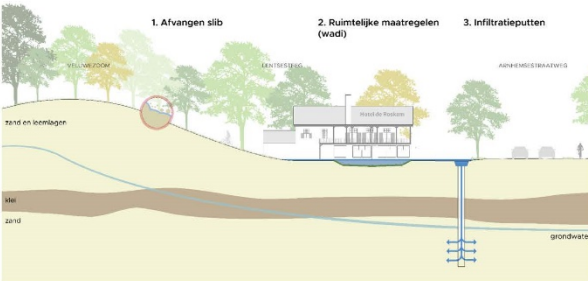
2 PILOTS

TKI WATERTechnologie
SMART WATER SYSTEMS
RESOURCE EFFICIENCY
SUSTAINABLE CITIES

- Urban waterbuffer als laatste oplossing op het laagste punt
- Bovenstrooms afvangen water, blad, zand, slib

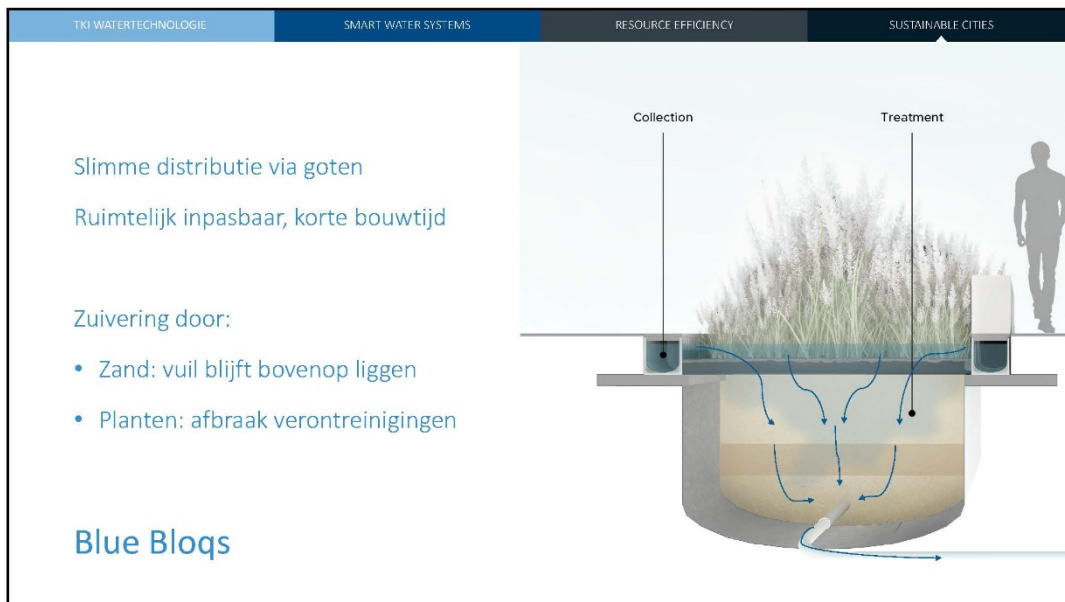
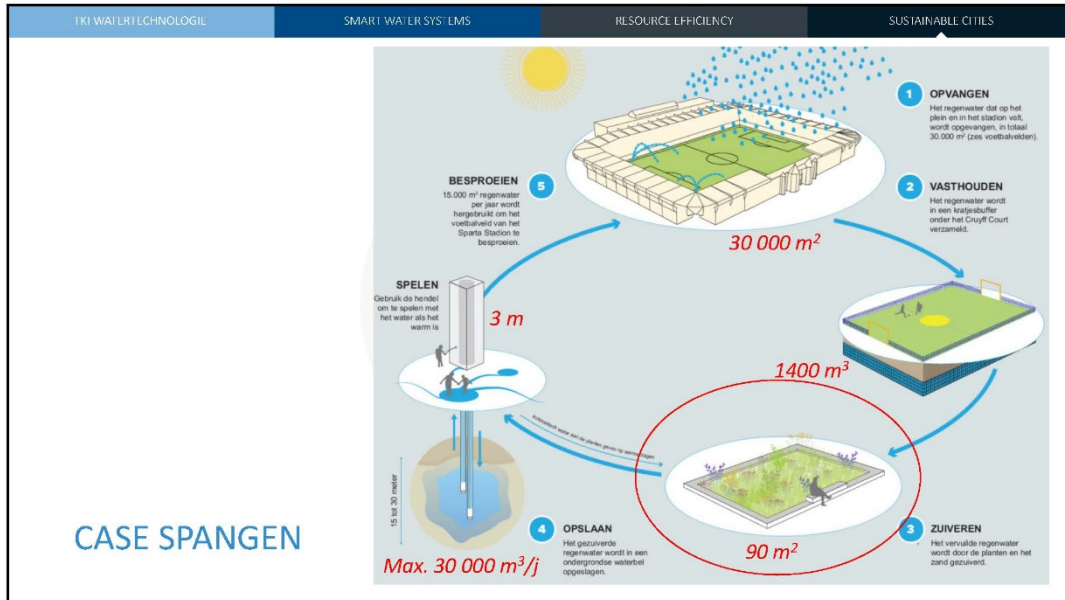
Sinds januari:

- Drie testputten met verschillende voorzuivering
- Analyse

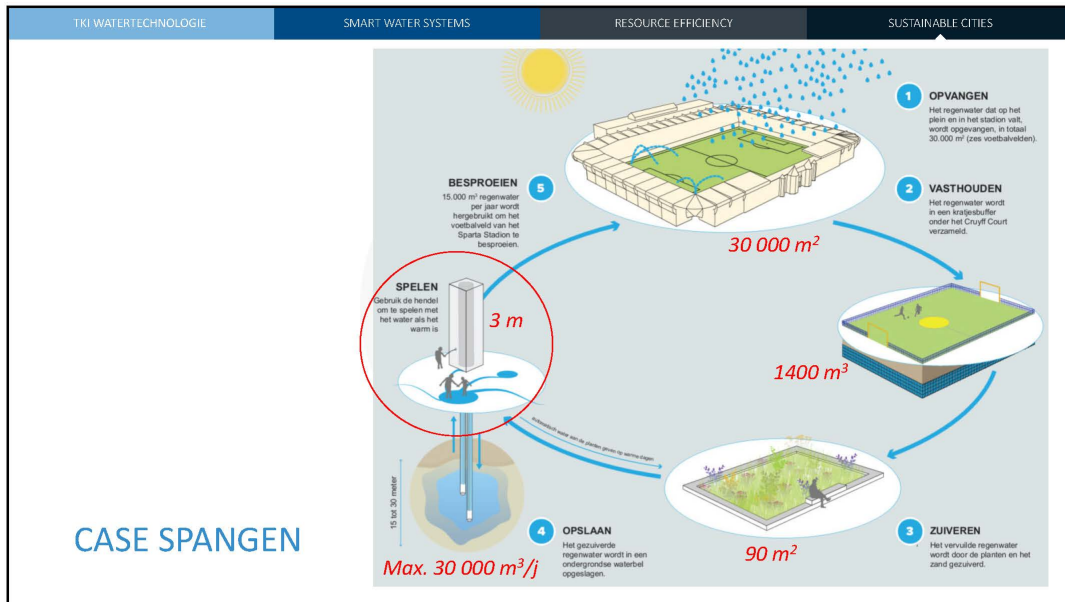


CASE RHEDEN

TKI Watertechnologie



TKI Watertechnologie



TKI WATERTechnologie | SMART WATER SYSTEMS | RESOURCE EFFICIENCY | SUSTAINABLE CITIES

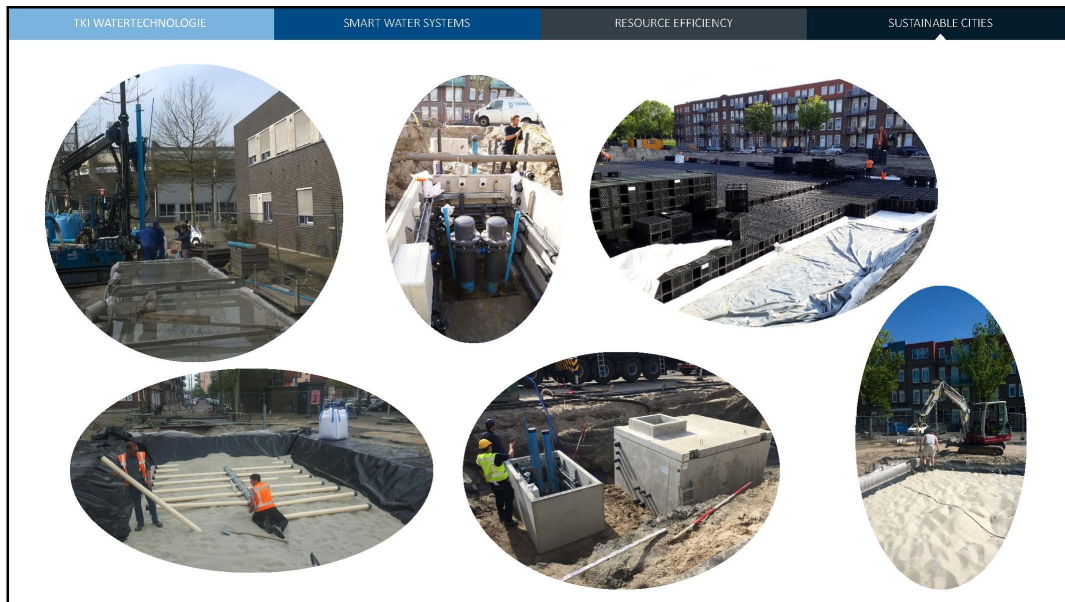
Infiltratie via 'waterzuil' / infiltratiebuis

- 3 m hoge waterkolom zodat gezuiverd water onder eigen gewicht de zandlaag in zakt
- Er wordt geen water de bodem in 'geperst'!
- Luchtbellens kunnen ontsnappen en zorgen niet voor 'blokkade'

Via grondwaterput naar zandpakket

Infiltratiebuis

TKI Watertechnologie



TKI WATERTechnologie SMART WATER SYSTEMS RESOURCE EFFICIENCY SUSTAINABLE CITIES

Doel: handreiking 2019
m.b.t.:

- Effectiviteit
- Waterkwaliteit
- Kosten
- Bedrijfsvoering en beheer
- Impact op maatschappij


RESULTATEN
TKI URBAN WATERBUFFER

The circular image shows a flooded urban area with water on the ground and a road in the background.

TKI Watertechnologie

TKI WATERTechnologie
SMART WATER SYSTEMS
RESOURCE EFFICIENCY
SUSTAINABLE CITIES

**14:00: EXCURSIE
(START VOOR WESTERVOLKSHUIS
/ BIJ DE WATERZUIL)**



koen.zuurbier@kwrwater.nl
 m.kuiper@wareco.nl
 wk@fieldfactors.com
 br.dedoelder@rotterdam.nl

Deze activiteit is mede gefinancierd uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.



WWW.URBANWATERBUFFER.NL

tkiwatertechnologie.nl

info@tkiwatertechnologie.nl

Speciale dank voor de medewerking tijdens realisatie:

Gemeente Rotterdam

CODEMA

Van Gelder Groep

Westervolkshuis

Natuurlijk Spangen

Sparta

Drain Design Construct BV

Hoogheemraadschap van Delfland

Schijf Grondboringen BV

TU Delft

IV Eindpresentatie Projectgroep: TKI-UWB (2019)

Bridging science to practise



Bridging science to practise 2

Topsectorenbeleid in Nederland

9 SECTOREN

- High Tech materialen en systemen
- Tuinbouw en uitgangsmaterialen
- Agro-Food
- Creative industrie
- Logistiek
- Life-sciences
- Chemie
- Energie
- Water

TKI's

- Topsector WATER
- TKI Maritiem
- TKI Deltatechnologie
- TKI Waternotechnologie

€1,5 miljard

KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practise

Bridging science to practise 3



TKI-Basisprincipes

Drijfveren t.a.v. onderzoek en innovatie

- Versterken privaat-publieke samenwerking (gouden driehoek)
- Creëren van synergie en samenhang
- Versterken efficiëntie en effectiviteit van in te zetten middelen
- Verbinden met internationale thema's en middelen
- Het creëren van een innovatieve publieke thuismarkt
- Als springplank voor de buitenlandse markt
- *Algemeen – versterken Nederlandse economie (export!)*



KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practise 4



Algemeen: TKI Watertechnologie

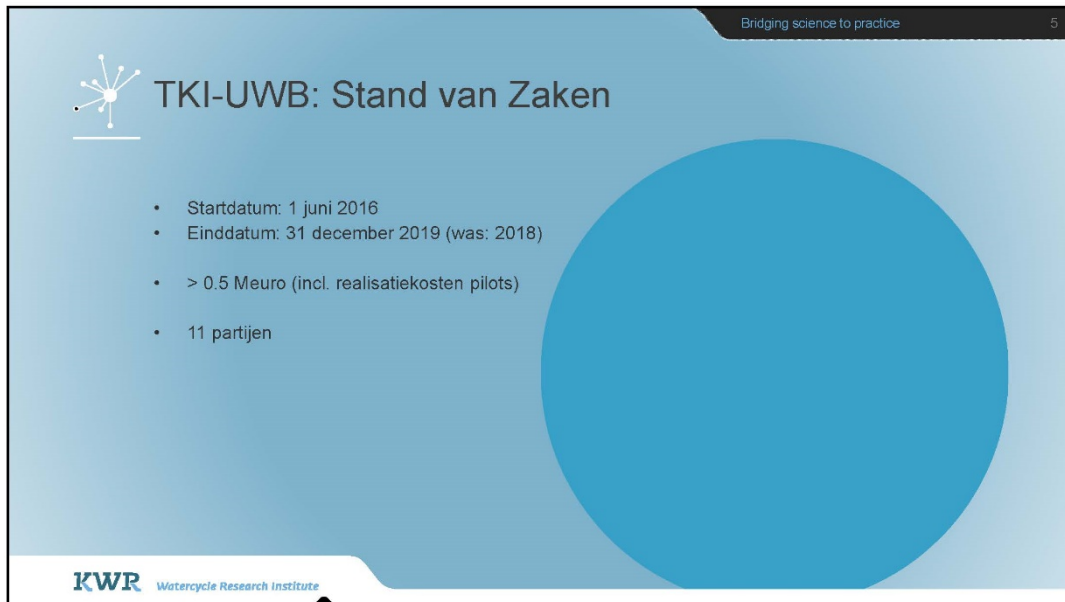
Inrichting van projecten via KWR

- Uitgangspunt samenwerkingsverband (publiek-private samenwerking):
 - Eindgebruiker(s)
 - Bedrijfsleven
 - KWR
- Financiering van 'industriële onderzoeksprojecten':
 - 50% inbreng bedrijfsleven
 - 50% TKI-funding

KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practise

Bridging science to practise 5

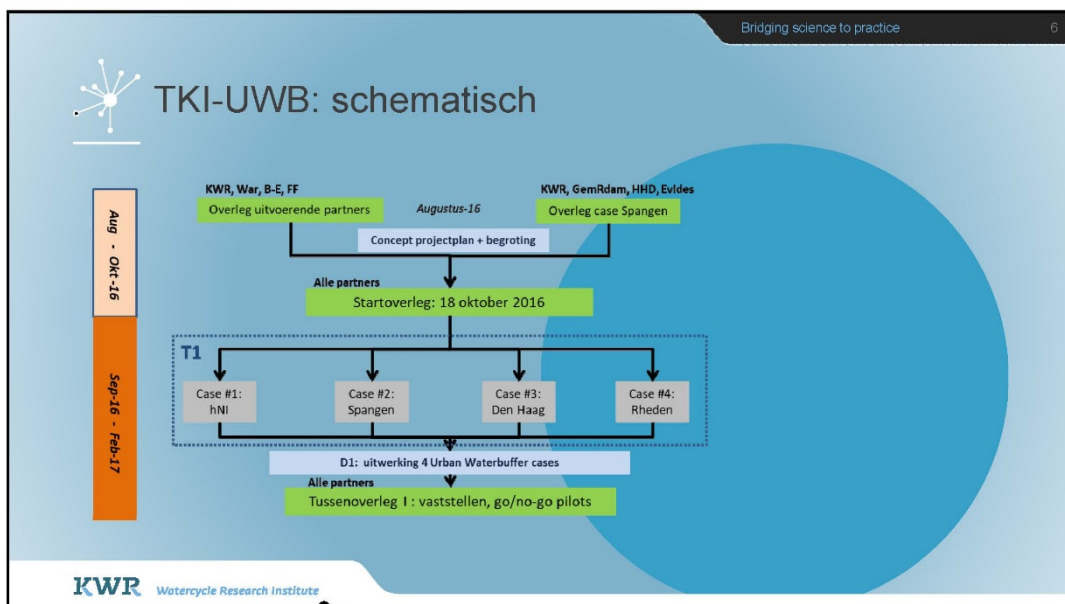


TKI-UWB: Stand van Zaken

- Startdatum: 1 juni 2016
- Einddatum: 31 december 2019 (was: 2018)
- > 0.5 Meuro (incl. realisatiekosten pilots)
- 11 partijen

KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practise 6



TKI-UWB: schematisch

Aug - Okt-16

Sep-16 - Feb-17

KWR, War, B-E, FF
Overleg uitvoerende partners

Augustus-16

KWR, GemRdam, HHD, Evldes
Overleg case Spangen

Concept projectplan + begroting

Alle partners
Startoverleg: 18 oktober 2016

T1

Case #1: hNI

Case #2: Spangen

Case #3: Den Haag

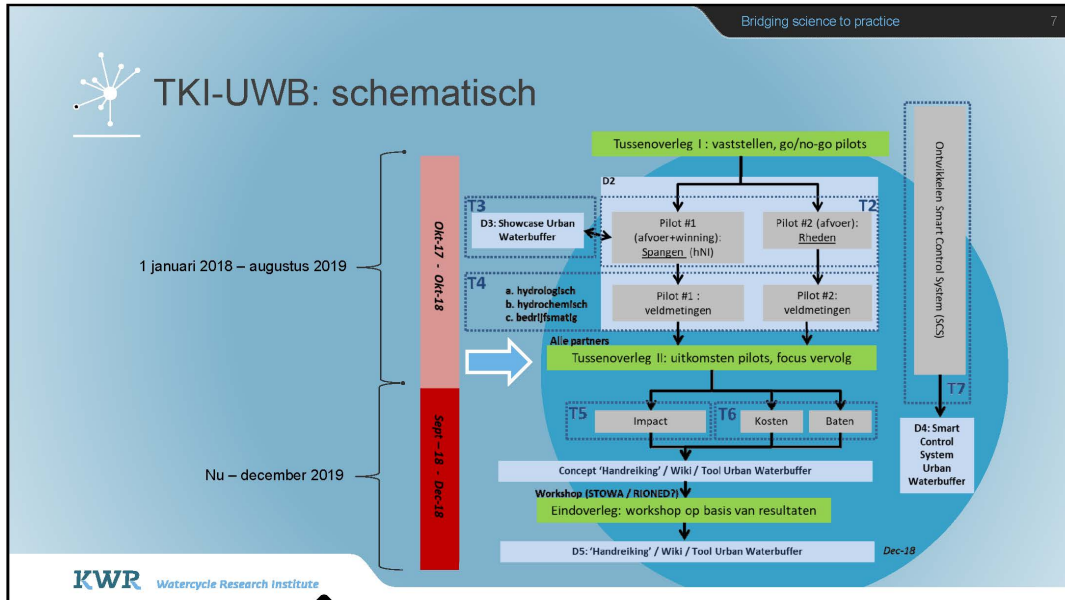
Case #4: Rheden

D1: uitwerking 4 Urban Waterbuffer cases

Alle partners
Tussenoverleg I: vaststellen, go/no-go pilots

KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practise



Bridging science to practise

Bridging science to practise 9

Afgelopen 2 jaar



KWR Watercycle Research Institute

Afgelopen 2 jaar



**Minister in droge Achterhoek:
'Nederland moet kampioen worden
in water vasthouden'**

Bridging science to practise

Bridging science to practice 11

Afgelopen 2 jaar

EN LINIE VAN WATERSCHAPPEN

HOME DE NEDERHOUD DE PRINS DE JURY INGEVROREN INZENDINGEN 2018

URBAN WATERBUFFER SPANJEN

Twee keer verslaakt

KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practice 12

Vragen?

KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practise



Bridging science to practise 14

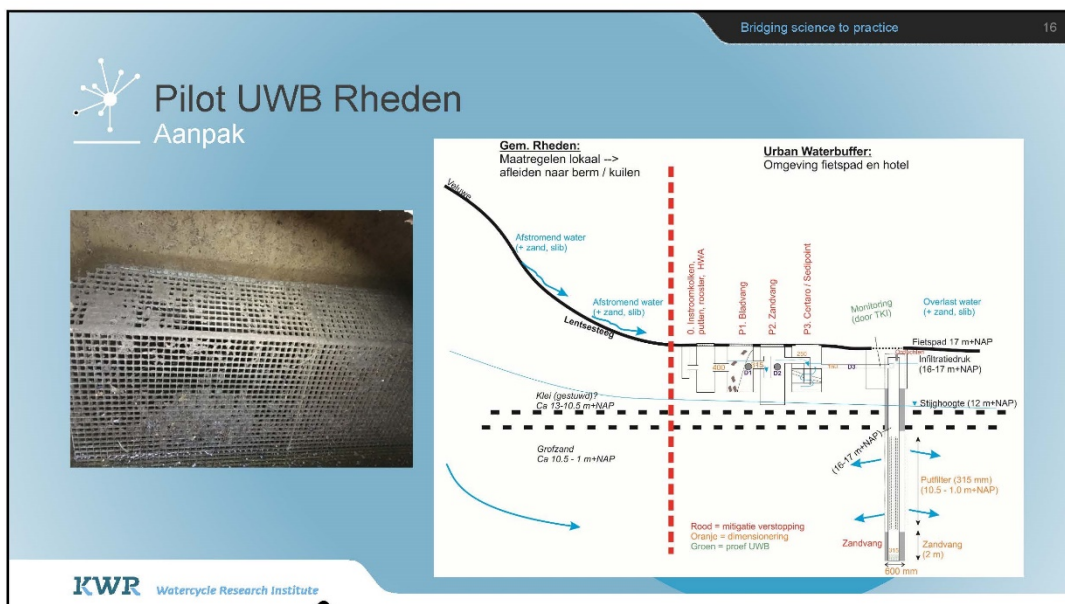
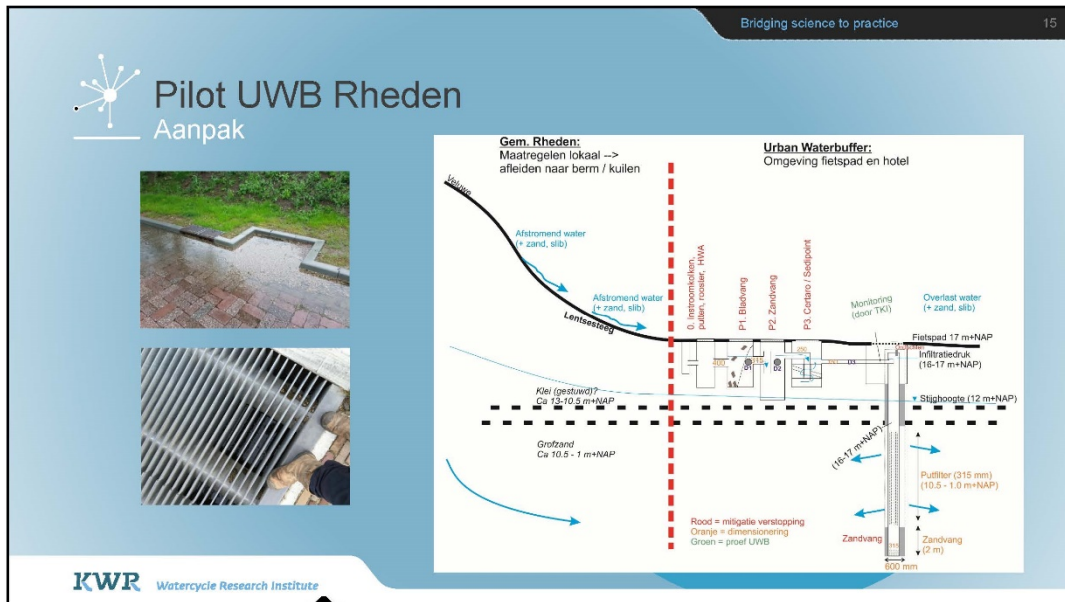
 **Pilot UWB Rheden**
Doelstellingen

1. Vaststellen functioneren 3 infiltratiebronnen met 3 gradaties van voorzuivering
2. Vaststellen effecten op de omgeving
3. Vaststellen afstroming richting fietspad i.r.t. water op straat t.b.v. bepaling noodzakelijk infiltratiecapaciteit
4. Vaststellen infiltratiewaterkwaliteit

Het doel van de pilot is niet om het waterprobleem bij zeer hevige buien op te lossen. Eerder is vastgesteld dat daarvoor ca. 11 infiltratiebronnen nodig zijn.


KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practise




Bridging science to practise

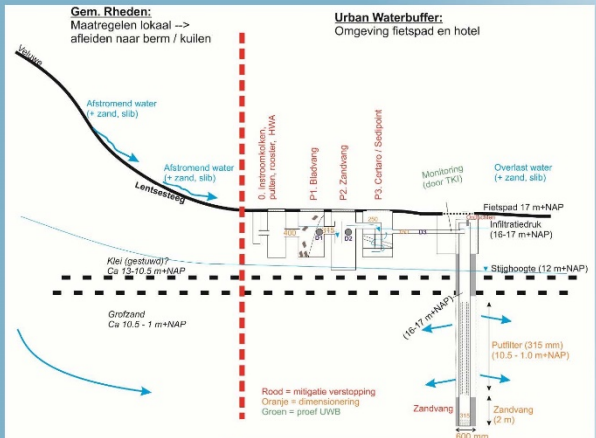
Bridging science to practise
17




Pilot UWB Rheden


Aanpak









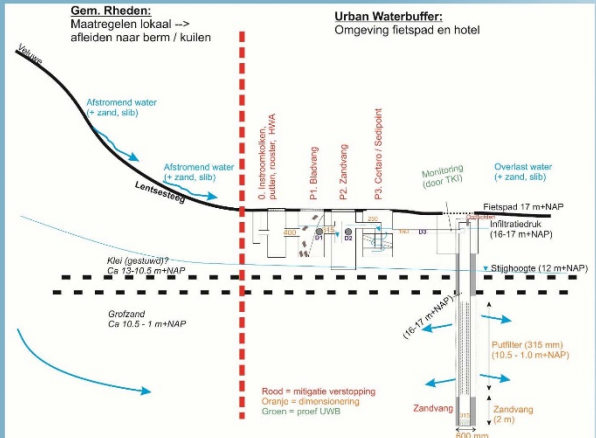
Bridging science to practise
18




Pilot UWB Rheden

Aanpak





Bridging science to practise

Bridging science to practise 19



Pilot UWB Rheden


Aanpak

1. IT-riool functioneert niet
2. Sinds februari 2019: eerste ca. 15 mm naar vuilwaterriool (first-flush)
3. Bronnen meer als overstort



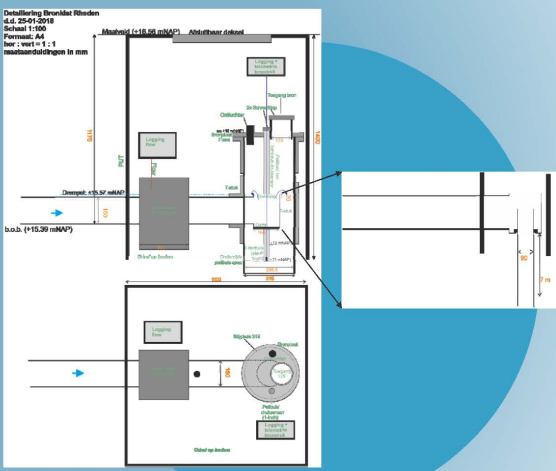




Bridging science to practise 20



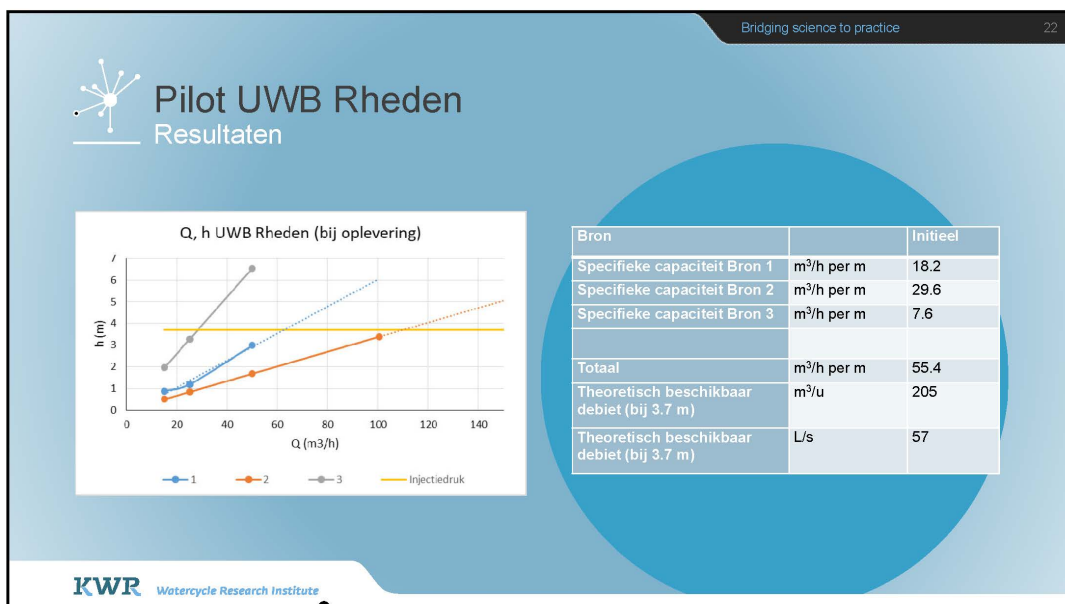
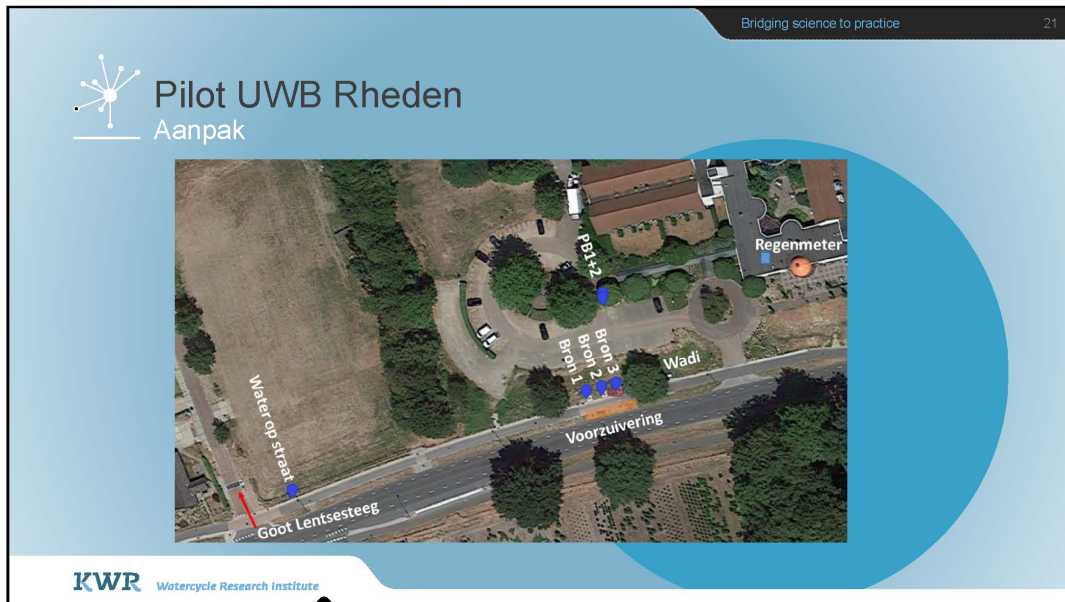
Pilot UWB Rheden

Aanpak

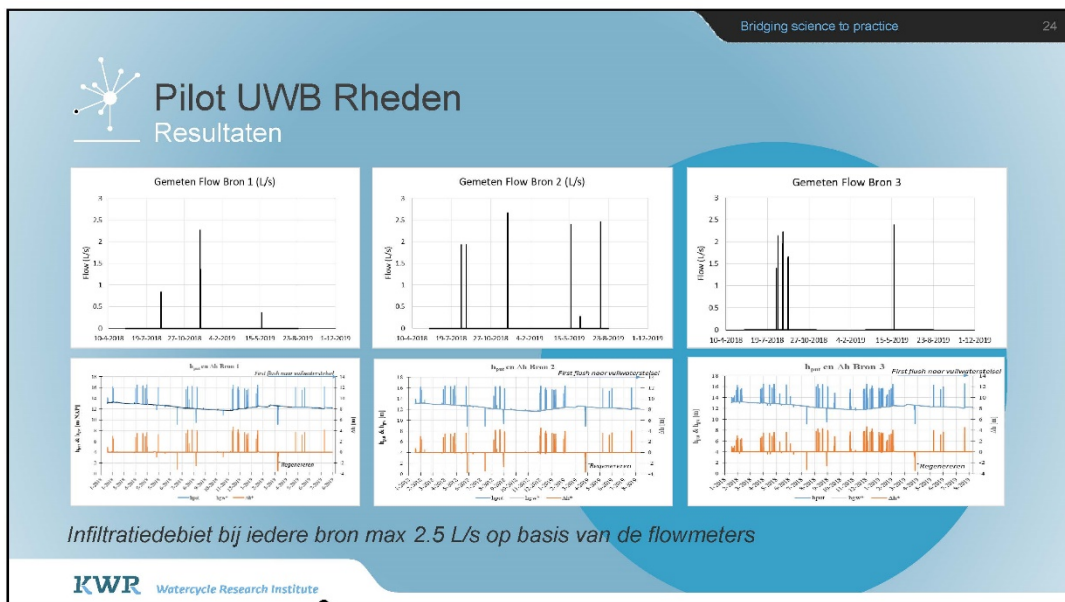
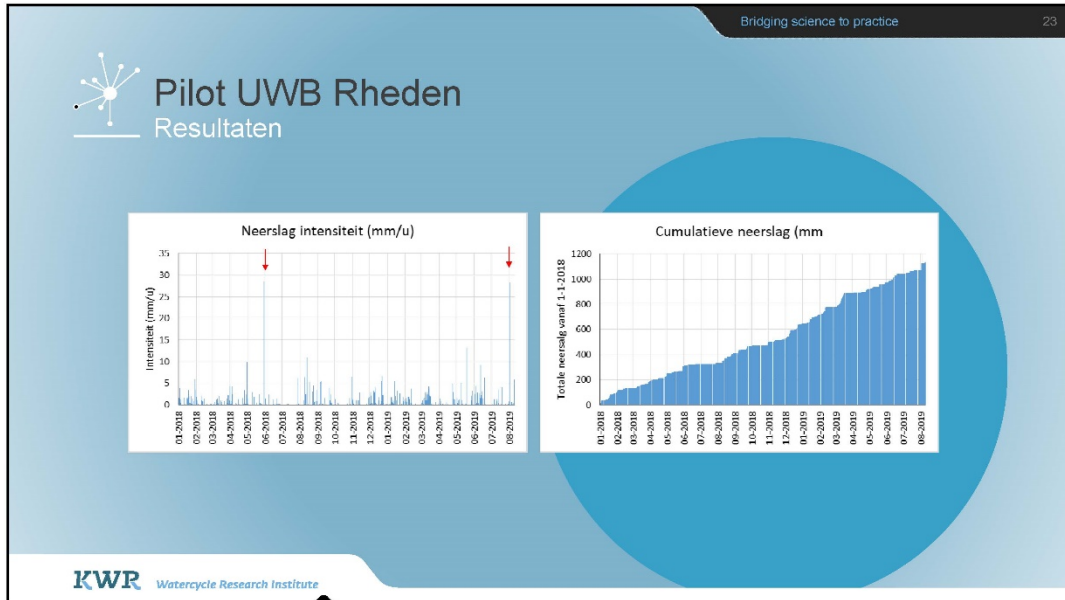


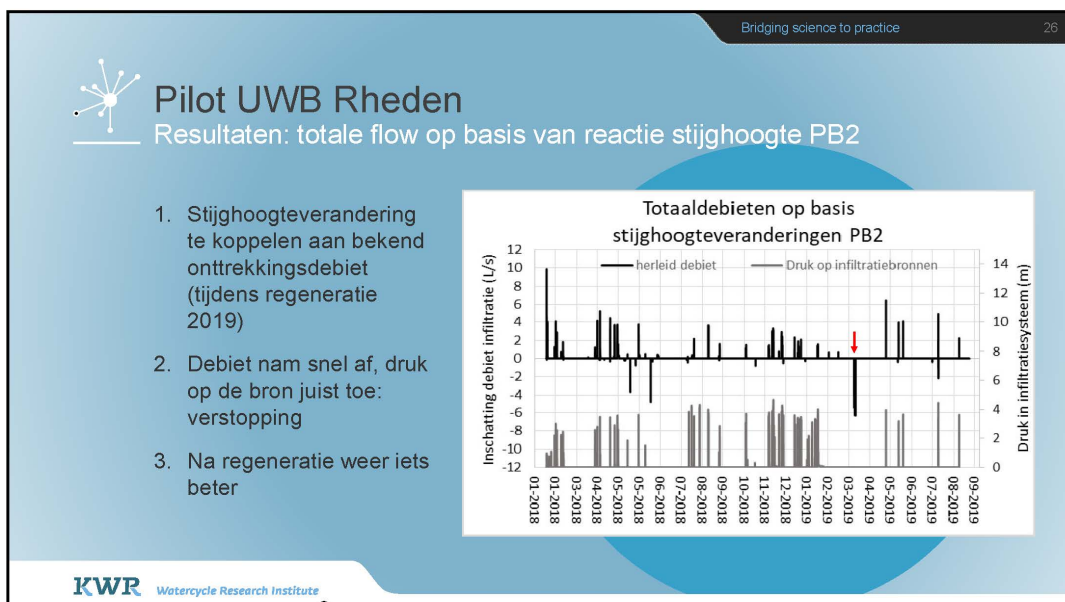
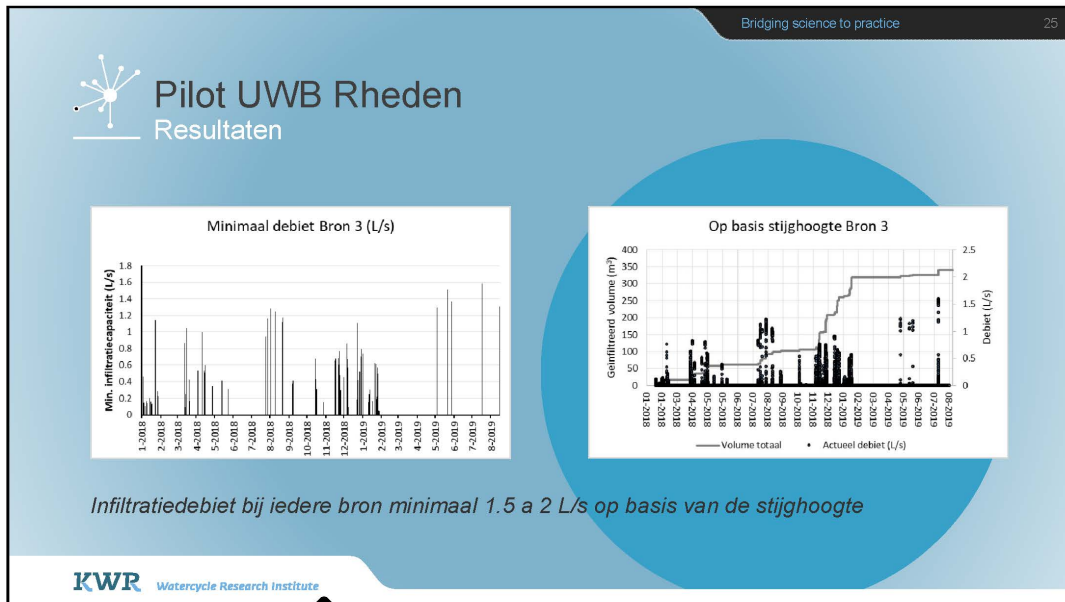
Bridging science to practise



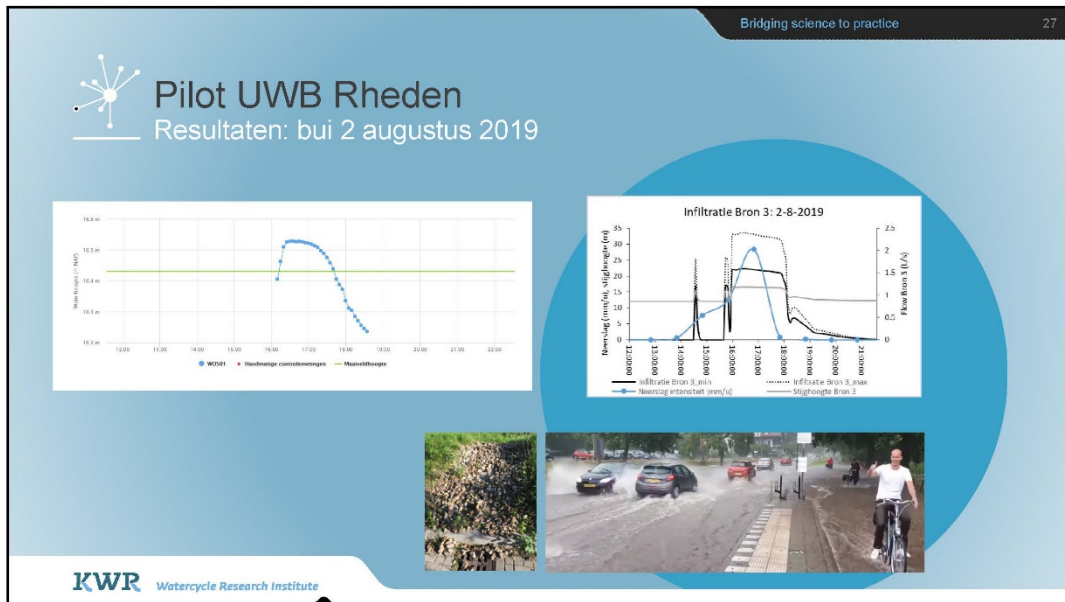
Bridging science to practise



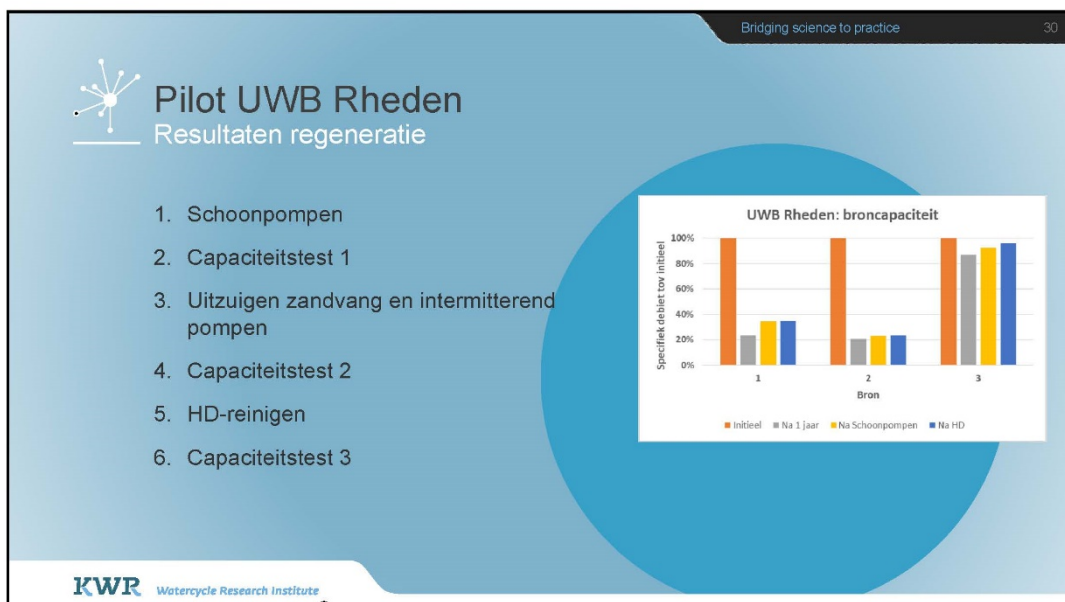
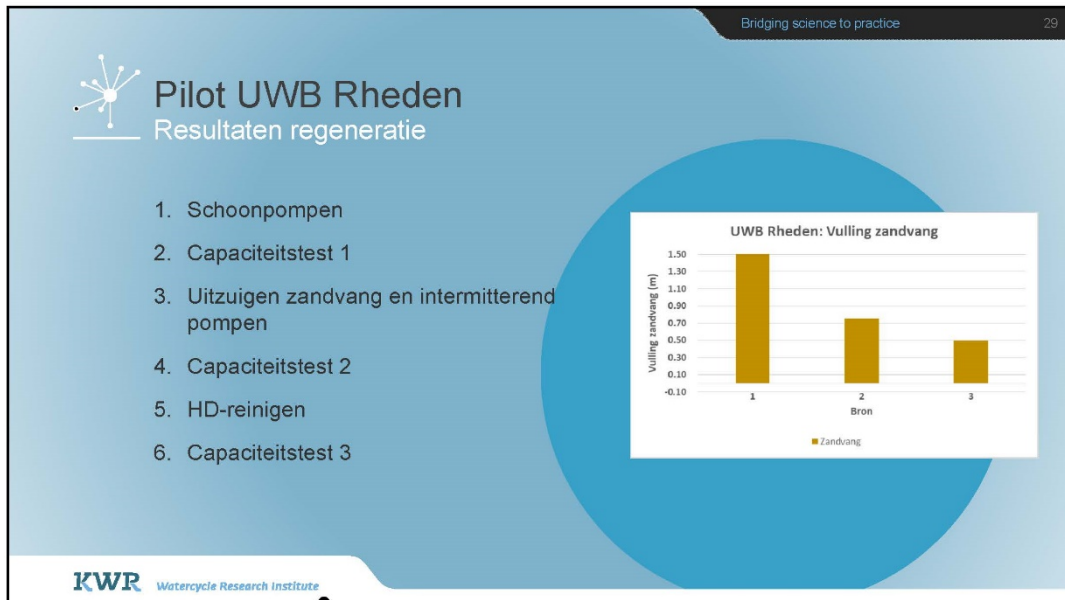
Bridging science to practise



Bridging science to practise



Bridging science to practise



Bridging science to practise

Bridging science to practise 31

 **Pilot UWB Rheden**
Resultaten regeneratie



KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practise 32

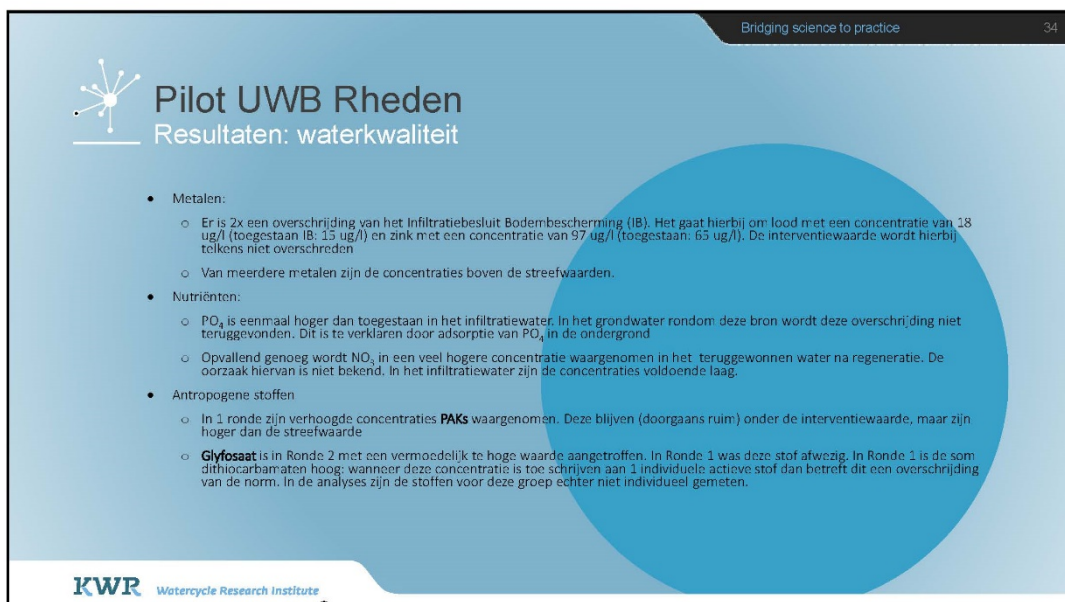
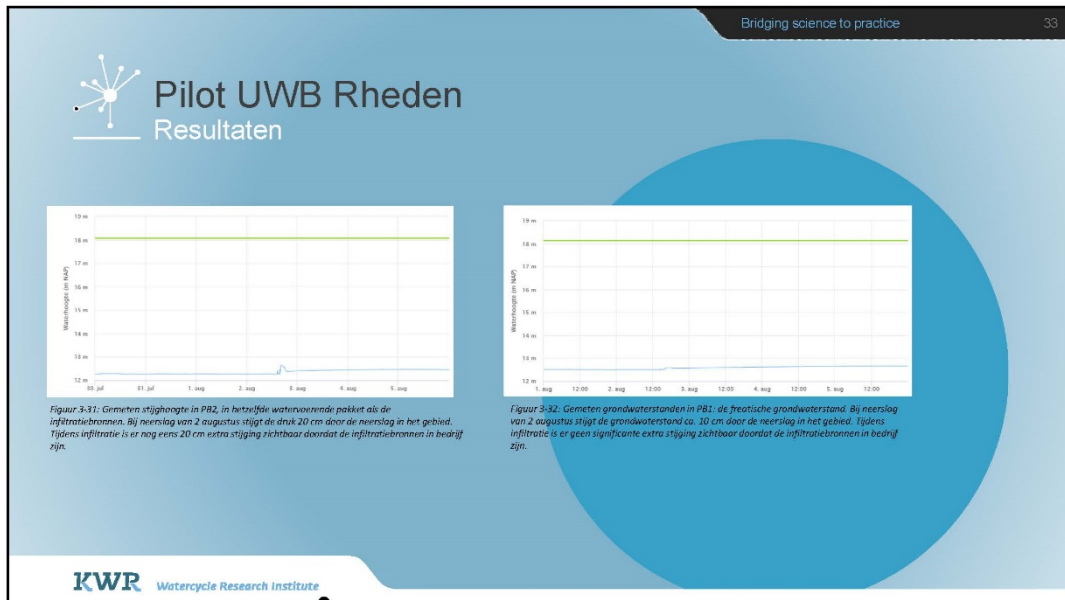
 **Pilot UWB Rheden**
Conditie bronnen augustus 2019



Bron 1, 2, 3

KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practise



Bridging science to practise

Bridging science to practise 35



Pilot UWB Rheden


Resultaten

Over het algemeen kan geconcludeerd worden de infiltratiewaterkwaliteit **aandacht verdient**, maar dat consequente overschrijdingen van wettelijke normen voor dezelfde stoffen in deze twee meetrondes niet zijn waargenomen. Aanbevolen wordt om **monitoring voort te zetten op metalen, PAKs, en pesticiden** om de waterkwaliteit risico-gestuurd te blijven controleren.

NB: zuiverende maatregelen verwijderen grove(re) delen en zijn naar verwachting niet van invloed op de chemische waterkwaliteit

KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practise 36



Pilot UWB Rheden

Conclusies

1. Het infiltratiedebiet al vanaf de ingebruikname van het systeem erg laag is en dat zich gedurende het jaar een langzame verslechtering aftekent. De bronnen lijken al bij / vlak na de realisatie van het gehele systeem verstopt;
2. Een eerste regeneratie door middel van intermitterend schoonpompen en HD-reinigen grote hoeveelheden zand en silt en fijne plantenresten uit de bronnen verwijderde, maar de capaciteit van Bron 1 (voorzuivering = alleen bladvang) en Bron 2 (voorzuivering = bladvang+bezinkelder) maar deels verbeterde (respectievelijk van 23 naar 35% en van 21 naar 23% van de initiële capaciteit);
3. Dezelfde regeneratie liet zien dat Bron 3 (voorzuivering = bladvang+bezinkelder+sedimentatie middels vortex) maar een beperkte achteruitgang (13%) in capaciteit liet zien en ook tamelijk succesvol te regenereren was tot 96% van de oorspronkelijke capaciteit. Deze bron is ook visueel schoner en kent minder sedimentatie in de zandvang.

Verder is opvallend dat de waargenomen totale specifieke capaciteit tijdens infiltreren nog geen 40% is van de vastgestelde specifieke capaciteit (per bron vastgesteld, daarna gesommeerd) na de regeneratie. Het water lijkt dus aanzienlijk moeilijker de ondergrond in te gaan dan eruit. Deels komt dit doordat de bronnen dicht op elkaar staan en elkaar enigszins tegenwerken, maar mogelijk komt dit ook door vervuiling van de filterspleet of het ontstaan van luchtinsluitingen.

KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practise

Bridging science to practise 37



Pilot UWB Rheden Conclusies

Met betrekking tot de **voorzieningen** wordt geconcludeerd dat alle voorzieningen zorgen voor enige afvang, van materiaal maar dat pas na het vortex sedimentatiesysteem het water enigszins schoon genoeg is om verstopping te reduceren.

De **infiltratiewaterkwaliteit** verdient aandacht, maar consequente overschrijdingen van wettelijke normen voor dezelfde stoffen in twee meetrondes zijn niet waargenomen. Met name metalen, PAKs, en pesticiden lijken een risico te vormen.

De **hydrologische impact** op het grondwater in de omgeving is mede door de lage debieten zeer gering, maar zou ook bij de beoogde hogere debieten niet tot problemen leiden.

Proef geslaagd, patiënt ligt er niet goed bij

Voorzuivering onvoldoende = afvoer onvoldoende = wateroverlast (want geen berging)
Met name tijdens/vlak na realisatie!! → aandachtspunt

KWR Watercycle Research Institute



Bridging science to practise



Bridging science to practise 40

Pilot UWB Spangen


Doelstelling

1. Vaststellen functioneren infiltratiesysteem inclusief voorzuivering met MUW
2. Vaststellen effecten op de omgeving
3. Vaststellen infiltratiewaterkwaliteit i.r.t. mogelijke putverstopping en grondwaterbescherming
4. Vaststellen kwaliteit i.r.t. gebruik als irrigatiewater in openbare ruimte.

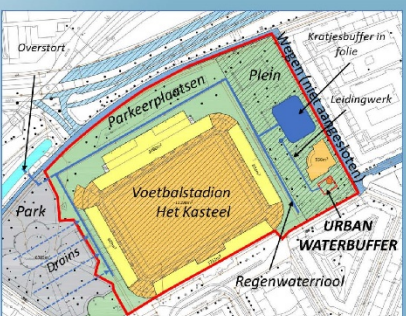
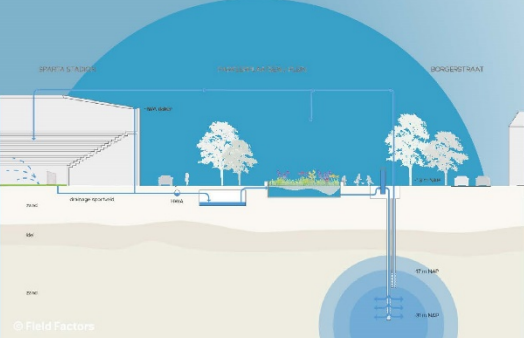
KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practise

Bridging science to practise 41



Pilot UWB Spangen Opzet

© Field Factors

KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practise 42



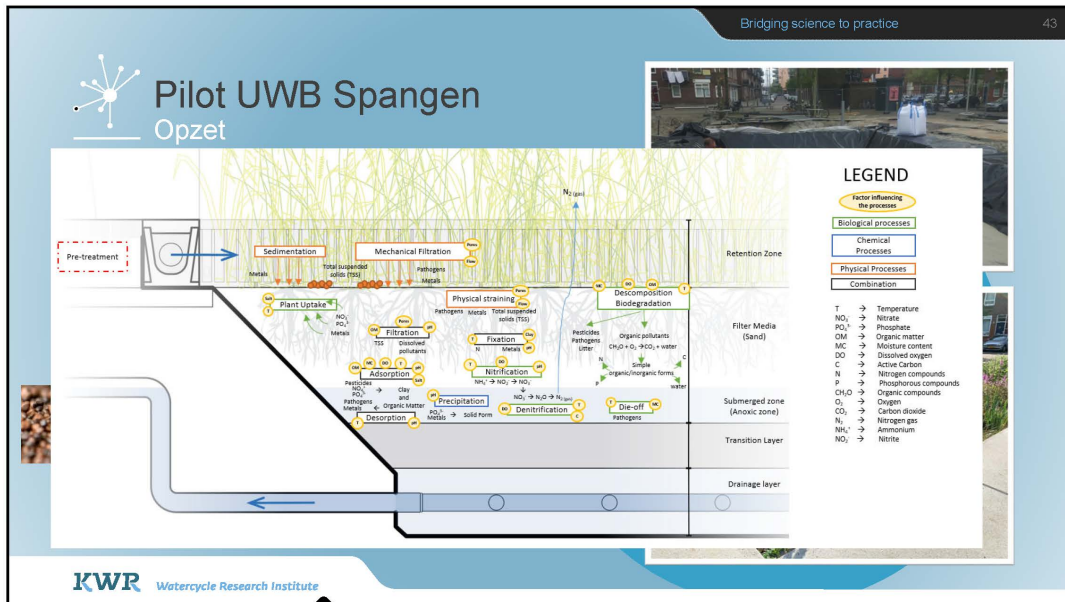
Pilot UWB Spangen Opzet



Object	Oppervlak (m ²)	
Dak gebouwen Sparta stadion*	5.460	?
Parkeerplaatsen / plein*	18.311	
Veld*	13.198	?
Dak Westervolkshuis	556	
Park (mogelijk, via drains)	8.400	?
Totaal	45.925	

KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practise



Bridging science to practise

Bridging science to practise
45

Pilot UWB Spangen

Opzet

- Diepte is 16.5 – 27 m-maaiveld
- Deklaag van klei, veen, fijn zand
- Ondergrond is brak!
 - Met name onderin WVP

Bridging science to practise
46

Pilot UWB Spangen

Methode

1. Online loggen bedrijfsvoering via Smart Control System (online)
2. Maandelijkse monitoring waterkwaliteit
3. Druksensoren in peilbuizen, regenmeter op dak Spartastadion
4. Proef infiltratie en onttrekking t.b.v. bepalen verwijdering pathogenen (juli 2019)

Datum (dd-mm-ij)	15-5-18	27-9-18	11-10-18	30-10-18	12-11-18	18-12-18	14-1-19	28-1-19	29-1-19	11-2-19	26-2-19	29-3-19	24-4-19	16-5-19	1-7-19	
Week#	20	39	41	44	46	51	3	5	5	7	9	13	17	20	27	
Locatie																
Grondwater	x				x		x		x	x	x	x	x	x	x	Analyse Macrochemie
Hemelwater (voor filter)		x	x	x	x	x		x			x	x	x	x	x	Volledige scan
Infiltratiewater (na filter)		x	x	x	x	x		x			x	x	x	x	x	Volledige scan
Winwater								x			x	x	x	x	x	Volledige scan
Tank Sparta											x	x	x	x	x	Microbiologie

Bridging science to practise

Bridging science to practise
47

Pilot UWB Spangon

Resultaten: buffer, verpompning

- Buffer doorgaans binnen 1-3 dagen weer leeg
- 1x overloop door storing in SCS (maart 2019).
- Kunstmatig hoog begin juli i.v.m. proef pathogenen
- Buffer loopt bij droogweer vol met insijpelend grondwater (geen regenwater)
- Max. infiltratiedebiet schommelt, maar uiteindelijk afname 15 naar 10 m³/u
- Na regeneratie: 15 m³/u

Bridging science to practise
48

Pilot UWB Spangon

Resultaten infiltratiewaterkwaliteit

- Afstromend regenwater is te troebel voor infiltratie
- Na zuivering veel beter, maar nog niet optimaal
- Zink doorgaans in te hoge concentratie in regenwater
- Wordt gemiddeld voldoende verwijderd
- PAKs worden verwijderd, indien aanwezig
- Fe-concentratie (opgelost) zeer hoog door insijpelen grondwater in HWA.
- Verwijdering verbeterd door Fe-gecoat zand (beluchting voorafgaand aan filtratie gewenst)
- Water is relatief zout (insijpelend grondwater)
- DOC relatief hoog: risico biologische groei

Parameter	Eenh.	Infiltratiepunt	Gemiddelde kwaliteit		Gemiddelde waarde (3) verpomping (3)
			100% infiltratie	10% infiltratie	
Samenhang	kg/m³	-	534	0,247	-99,9%
Ca	mg/l	0,07	12 (11)	49 (20)	65%
Fe (opgel.)	µg/l	10 ⁰	155 (105)	24 (17)	-87%
Turbiditeitsgraad	N.U.	19	1,4	4,1	92%
Mn	µg/l	-	26	22	-16%
Mg	mg/l	120	104	102	-15%
Pb	mg/l	0,01	0,10	0,07	-30%
Cadmium	µg/l	0,005	0,7	0,27	-60%
Chloride	mg/l	1000	10	29	-97%
DOC	mg/l	20	10,7	8,9	-55%
AMP	µg/l	0,01	0,004	0,04	-92%
EC	µS/cm	-	392	196	-50%
Fe	µg/l	-	122	118	-4%
NO ₃	mg/l	-	2,1	200	-99%
NH	mg/l	1,00	25	21	-16%
Si	mg/l	-	269	201	-25%
S	µg/l	-	1,0	1,0	-0%
zink	-	-	7,1	7,1	0%
Cl	mg/l	-	30,6	10,9	-64%
SO ₄	mg/l	-	31,4	10,7	-66%
Cl	µg/l	0,01	12	12	0%
Temperatuur	°C	-	17,5	13,3	-24%
DOC	mg/l	-	41,2	40,7	-1%
Resonantie	µmole/l	-	100	100	0%
Enthalpie	µmole/l	-	21	27	29%
NO ₂	µg/l	1,00	1,15	0,23	-79%

Bridging science to practise

Bridging science to practise
49

Pilot UWB Spangen

Resultaten: grondwaterkwaliteit

- Na bodempassage is de algemene grondwaterkwaliteit veel beter.
- Met name door verzoeting.
- Alleen SO₄ neemt toe (afwezig in het oorspr. Grondwater), pH licht omhoog

Parameter	Eenheid	Oorspronkelijke grondwaterkwaliteit	Kwaliteit na bodempassage	Toename (+) / Afname (-)
Datum		15/6/18	24/4/19 – 1/7/19	in %
Veldmetingen				
pH	-	6,7	7,3	+9
Temperatuur (pH)	°C	13,7	12,3	-10
EC	mS/m	318	58	-81
Labmetingen				
pH	-	6,7	-	-
Temperatuur	°C	17	-	-
EC	mS/m	313	-	-
calcium (Ca)	mg/l	140	71	-49
ijzer (Fe)	µg/l	11000	1800	-85
kalium (K)	mg/l	14	4,5	-68
magnesium (Mg)	mg/l	57	10,1	-82
mangaan (Mn)	µg/l	1200	230	-81
natrium (Na)	mg/l	400	32,3	-92
ammonium als N	mg N/l	23	0,4	-98
ammonium als NH ₄	mg	-	0,5	-98
ammonium als NH ₄	NH ₄	29	-	-
opgelost fosfaat als P	mg P/l	0,06	<0,05	-
opgelost fosfaat als P _{0,4}	mg	-	<0,15	-
fosfaat	P _{0,4}	0,18	-	-
nitraat als N	mg N/l	< 0,05	<0,05	-
bicarbonaat (HCO ₃)	mg/l	670	240	-64
chloride (Cl)	mg/l	780	45,7	-94
sulfate (SO ₄)	mg/l	< 1	34,3	>300%
totale hardheid	meq/l	12	4,4	-63

Watercycle Research Institute

Bridging science to practise
50

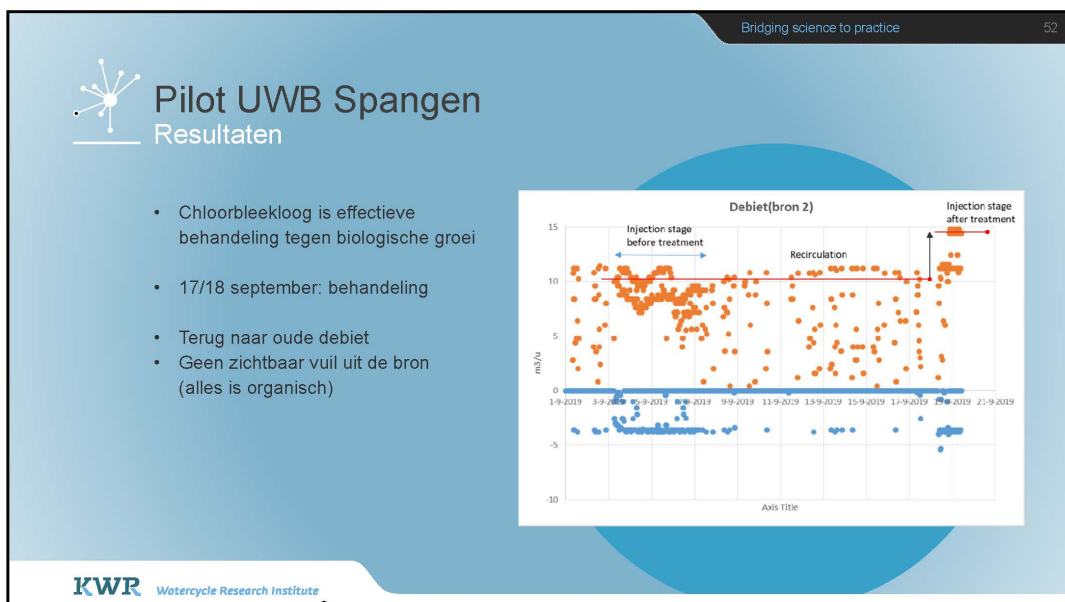
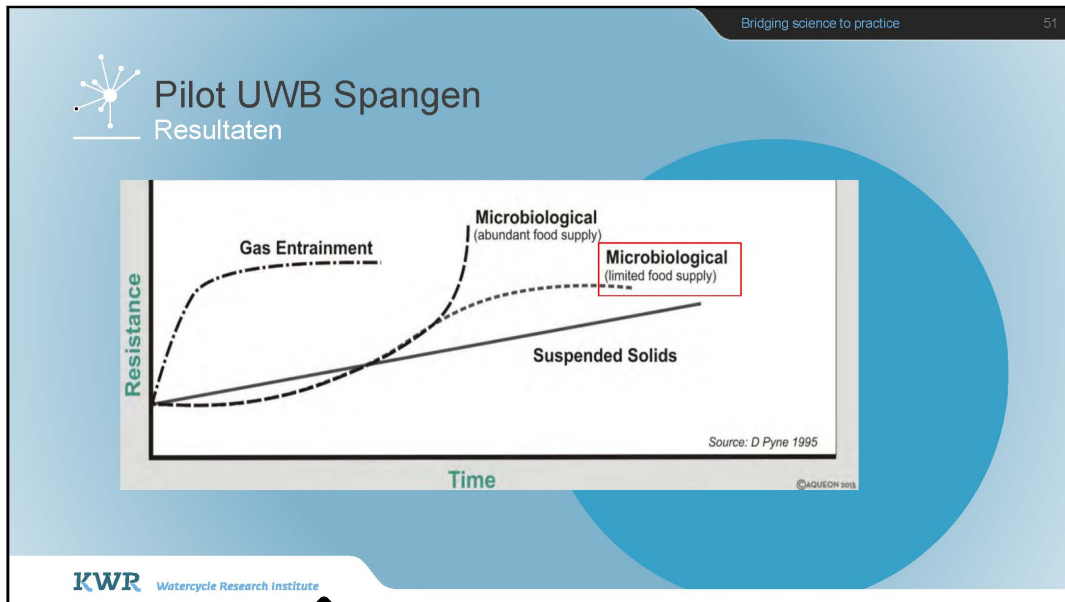
Pilot UWB Spangen

Resultaten: verstopping

Bron verstopt met name eerste 2 dagen van infiltratie, daarna stabiel
infiltratiedebiet na elke periode van infiltratie weer een stukje lager

Watercycle Research Institute

Bridging science to practise



Bridging science to practise

Bridging science to practise
53

Pilot UWB Spangen

Resultaten

- Met name ijzer in zeer hoge waarden!
- Gebrek aan beluchting infiltratiewater (zuurstofloze condities)
- De buurt waardeert het effect op de waterzuil....
- Geen negatieve invloed op gras Sparta

Tijd	Infiltratiewater (mg/L)	Winwater (mg/L)	Norm (mg/L)
1-1-2019	0.0	0.0	0.5
1-2-2019	0.0	0.1	0.5
1-5-2019	0.0	1.1	0.5
1-4-2019	0.4	0.9	0.5
1-5-2019	0.0	0.8	0.5
1-6-2019	0.2	1.6	0.5
1-7-2019	0.1	0.8	0.5

Watercycle Research Institute

Bridging science to practise
54

Pilot UWB Spangen

Resultaten Microbiologie

- Poepbacterie doorgaans in afstromend hemelwater. Ook hier
- Zandfilter verwijdert niet
- >1 Log verwijdering <3 dagen opslag in bodem

Gebruik bij Sparta:

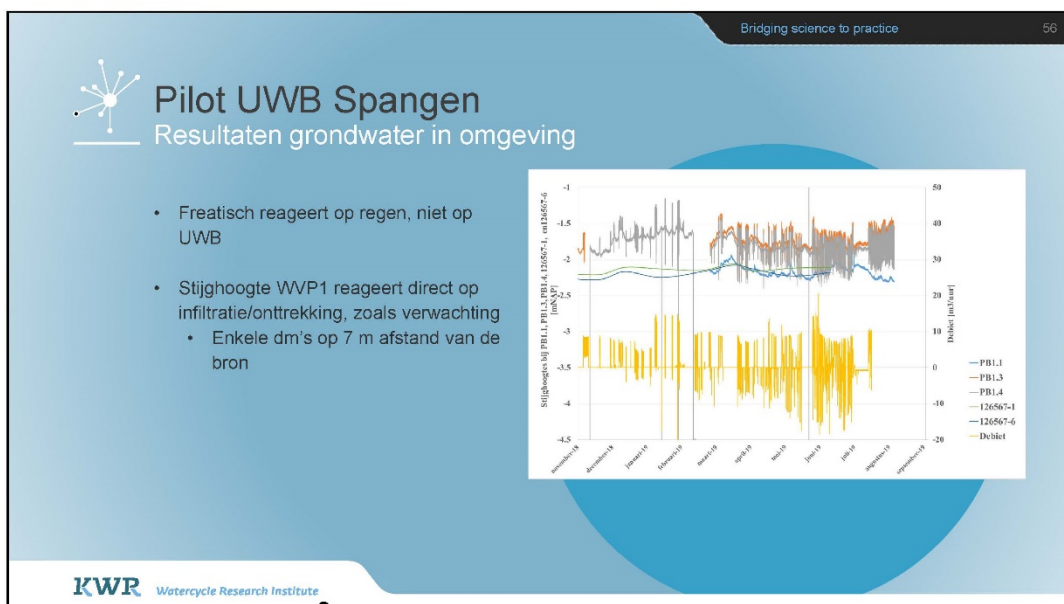
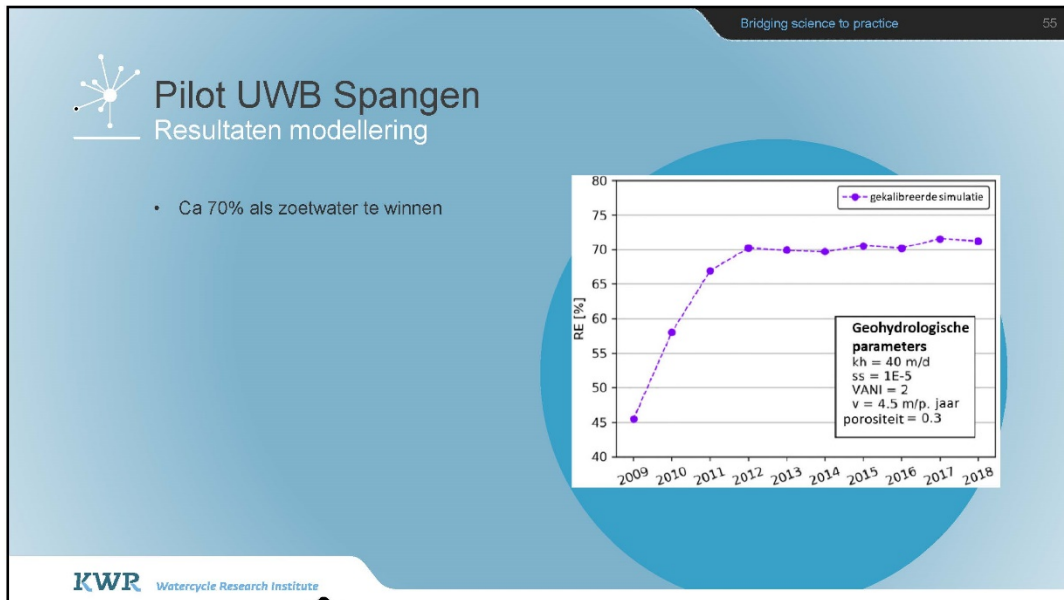
- Zonder opslag: risico = geaccepteerd risico zwemwater
- Met opslag: risico = drinkwater
 - *Dat wil niet zeggen dat kwaliteit = drinkwater!*

Na infiltratie regenwater: 3 dagen wachten met onttrekking

Verblijf in ondergrond (d)	E. coli	Klemsgetal 37°C	Enterococci
0	100	10000	100
1	2	50	2
3	1	100	1
7	1	100	5
10	1	300	1

Watercycle Research Institute

Bridging science to practise



Bridging science to practise

Bridging science to practise
57

Pilot UWB Spangen

Resultaten

Bedrijfsvoering

In totaal is bijna 10.000 m³ gezuiverd hemelwater geïnfiltererd in voornamelijk de onderste 7 m van de zandlaag. Met name met een filter in de bovenste 2 m van de zandlaag is ruim 2.500 m³ water onttrokken voor gebruik. Zo'n 7500 m³ hemelwater is achtergebleven voor latere onttrekking, maar zal deels op- en afdrijven naar de bovenkant van de zandlaag. In de laatste maanden van de bedrijfsvoering is ijzergecoat zand toegevoegd aan het zandfilter en is dagelijks water gerecirculeerd over het filter.

Hydrologische impact

Door de ruime kratjesbuffer en het feit dat niet al het verharde oppervlak in de omgeving lijkt te zijn aangesloten (waarschijnlijk is het stadion niet aangesloten) wordt overstort van hemelwater naar oppervlaktewater voorkomen. Alleen door een storing in de bedrijfsvoering heeft eenmalig overstort plaatsgevonden (maart 2019). Effecten van de infiltratie in de ondergrond zijn waarneembaar in de stijghoogte van het watervoerend pakket, maar niet in de freatische grondwaterstand. Naar schatting 1850 m³ drinkwater is bespaard bij Sparta.

Watercycle Research Institute

Bridging science to practise
58

Pilot UWB Spangen

Resultaten

Impact waterkwaliteit

Door vermenging met insijpelend ondiep grondwater, is het inkomende water vanuit de kratjesbuffer geen 'typisch' regenwater. Hoge concentraties van Na, C, Fe, Mn, HCO₃, en NH₄ markeren het ondiepe grondwater. Fe en Mn zorgen daarbij voor een verhoogd risico op putverstopping en worden onvoldoende afgevangen door het Bluebloqs filter doordat belichting niet plaatsvindt. Het ijzer-gecoat zand zorgt sinds april 2019 wel voor sterke verwijdering van met name Fe. Met name zink vormt een risico voor verontreiniging van het grondwater, maar wordt doorgaans voldoende verwijderd door het Bluebloqs filter. Het teruggewonnen water heeft relatief hoge concentraties Fe en totale hardheid voor het beoogde gebruik, maar dit leidt niet tot problemen. Op basis van de modelresultaten kan ca. 70% van het ingebrachte water succesvol worden teruggewonnen zonder sterke vermenging met brak grondwater.

De microbiologische kwaliteit behoeft aandacht. Op basis van de samenstelling van het hemelwater is er een risico op infectie door pathogenen via aerosolen uit het sproeiwater bij Sparta, vergelijkbaar met het geaccepteerde risico bij zwemmen in open water in Nederland. Door het water langere verblijftijd (>3 dagen) in de ondergrond te geven wordt dit risico sterk verlaagd. Aanbevolen wordt om dit te valideren door langdurige monitoring.

Putverstopping

Een belangrijk operationeel risico bij de Urban Waterbuffer is putverstopping. Door het Bluebloqs voorfilter wordt dit risico sterk verlaagd, omdat zwevend stof in belangrijke mate wordt afgevangen. Toch is een terugloop in specifieke infiltratiecapaciteit zichtbaar, zowel tijdens een periode van infiltratie (waarna herstel volgt tot bijna de oorspronkelijke capaciteit) als op lange termijn geleidelijke afname infiltratie-debiet. Vermoedelijk speelt biologische groei hierbij een belangrijke rol. In september is de bron daarom eenmalig chemisch geregenereerd. [resultaten nog toevoegen]

Watercycle Research Institute

Bridging science to practise



Algemene conclusies 2 pilots

- UWB concept interessant als vervanging / uitbreiding afvoer, maar niet voor vervanging/uitbreiding berging
 - Infiltratie is relatief traag (Spangen: voorgeschakelde buffer)
 - Zuivering is eerst nodig (Bluebloqs Spangen, verstopping Rheden)
- Waterkwaliteit is aandachtspunt!
 - Chemisch (bodemverontreiniging)
 - Verstopping
 - Pathogenen (bij hergebruik)
- Langzame zandfiltratie is eis en geeft mogelijkheden optimalisatie
- Concept past binnen scope water vasthouden (en winnen) i.r.t. droogte

KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practise 60

V Proceedings ISMAR-10 (2019): Preventing pluvial flooding and water shortages by integrating local aquifer storage and recovery in urban areas.

Managed Aquifer Recharge: Local solutions to the global water crisis

Paper for ISMAR10 symposium.

Topic No: 18 (034#)

Preventing pluvial flooding and water shortages by integrating local aquifer storage and recovery in urban areas

Koen Zuurbier^{1,2*}, Bert de Doelder³, Wilrik Kok⁴ and Boris van Breukelen⁵

¹ KWR Watercycle Research Institute ; koen.zuurbier@kwrwater.nl

² Allied Waters; koen.zuurbier@alliedwaters.com

³ Municipality of Rotterdam; br.dedoelder@rotterdam.nl

⁴ Field Factors; wk@fieldfactors.com

⁵ TU Delft; b.m.vanBreukelen@tudelft.nl

* Correspondence: koen.zuurbier@kwrwater.nl; Tel.: +31 30 60 69 666

Abstract: Water management in urban areas forms an increasing challenge due to intense rainfall events and the increasing water demand for non-potable use. Rainwater harvesting and use can be successful in providing a high-quality additional water source. Due to its limited spatial footprint, large capacity, and potential disinfection, aquifer storage and recovery (ASR) can be an interesting MAR-technique in urban areas. The Urban Waterbuffer concept was developed and tested in the city of Rotterdam (The Netherlands). It aims to locally collect and retain rainwater from 4.5 hectares of different urban areas and pre-treat it with green infrastructure such that it can be used for infiltration by an ASR. It was found that a retention basin was needed to compensate for the low infiltrate rate of the ASR well. The biofilter was camouflaged in the urban space and provided sufficient treatment to meet legal water quality limits. DOC, suspended solids, and Fe concentrations were still higher than operationally desired, and can result in well clogging. A reduction in infiltration capacity at the ASR well was already observed during moments of high Fe concentrations in the infiltration water. A closer microbial risk assessment is required to ensure safe use of the recovered water, but could not be executed with the data collected so-far. The main disinfection of the rainwater is expected in the aquifer, based on the operation and location of the biofilter and the first plate count results.

Keywords: aquifer storage and recovery; urban; water management; irrigation; water quality; groundwater

1. Introduction

Water management in urban areas is becoming an increasing challenge. Extreme rainfall events require rapid discharge and retention. Prolonged droughts require external freshwater supply from the sometimes water-stressed surroundings [1]. Groundwater overdraft results in sinking cities like Mexico and Jakarta [2] and saltwater intrusion [3]. At the same time, the number of people living in cities is increasing rapidly [4], while climate change is increasing the need for dedicated water management [5].

Managed aquifer recharge (MAR) may provide an important water management technique for urban areas, for instance for water recycling [6]. This is because aquifers can retain vast volumes with limited spatial footprints aboveground and provide natural treatment, (filtration, sorption, and degradation). For those reasons, MAR can be a very strong combination with rainwater harvesting in urban areas. It can result in retention and discharge of rainwater, a source of high-quality of freshwater, and mitigation of groundwater overdraft and the resulting subsidence and saltwater intrusion. To date, MAR is however primarily used to discharge stormwater [e.g. 7] and in some good Australian examples to where also storage and recovery is involved to store and recovery large volumes of stormwater in a sandy carbonate aquifer [e.g. 8, 9, 10], generally upon treatment in a wetland.

For cities coastal and delta areas like The Netherlands, a specific aquifer storage and recovery (ASR) concept has been developed to cope with local urban water surpluses and non-potable water demand. It is constructed to elegantly fit even in very dense urban areas, without compromising on the required pre-treatment. By exploiting the multiple partially penetrating wells [11], the recovery efficiency in brackish aquifers and the removal of pathogens is to be enhanced, such that the water can be better used upon recovery. A first pilot is realized in the Spangen neighborhood of Rotterdam (The Netherlands). The aim of this paper is to discuss the concept and results of the injection and recovery cycle.

2. Materials and Methods

2.1. Field site

The site is located in the Spangen neighborhood in the city of Rotterdam (The Netherlands). This neighborhood (9500 inhabitants) was built in the early twentieth century for the workers in the rapidly growing harbor. It is situated in the polders close to the river "Nieuwe Maas" (1,500 m to the south) and has a surface level of 1.3 m below sea level (mBSL). The distance from the coastline (tot the northwest) is 22 km. The estimated area connected to the Urban Waterbuffer field pilot is around 46,000 m² and consists of squares, parking lots, parks, roofs, and a football stadium. In 1998, a rainwater collection system discharging the local rainwater to the surface water system was constructed in order to relieve the sewage system. After realization of the Urban Waterbuffer, it was found that the drainage of the park east of the area was also connected to the rainwater system.

2.2. Set-up of the Urban Waterbuffer Spangen

The Urban Waterbuffer concept was added to the existing rainwater collection system. A threshold was created at the discharge point towards the surface water to create an overflow. A 1400 m³ large retention basin ('buffer') was constructed using the Rigofill system (Fraenkische, Germany) wrapped in EPDM foil to create a closed basin, without interaction with the local groundwater. The function of this basin was to retain the rainwater (30 mm maximum) during rainfall events, in order to distribute it to the target aquifer for ASR with a lower rate than the rainfall intensity. This retention is crucial as infiltration rates via ASR are generally too low to rapidly discharge intense rainfall. The first treatment step is removal of coarse material and light non-aqueous phases with a Sedipoint system (Fraenkische, Germany) in the pipeline leaving the retention basin. From there, the water is pumped towards a so-called *Bluebloqs* biofiltration system (Field Factors, The Netherlands). The system is based on a combination of slow sand filtration and vertical reedbed filters and is constructed to spatially fit in public space. The surface area of the filter is 90 m² and the maximum discharge on the filter is 30 m³/h, resulting in a designed maximum velocity of 0.3 m/h through this 1 m thick filter with a top layer of sieved 0.4 - 0.8 mm of fluvial sand. Reeds and sedges were planted in the top layer, which was then covered

with woodchips. Upon filtration, the water is transported to a standpipe ($\varnothing = 400$ mm), 3.0 m high above surface level. From this standpipe, the water flows to the ASR well. The ASR well consist of two partially wells in a single borehole ($\varnothing = 500$ mm). The well screening in target fluvial sand aquifer (16.75 to 26.5 m below surface level) is 17-19 m below surface level (W1) and 20 – 26.5 m below surface level (W2). W2 is used for infiltration, W1 is used for recovery. This way, more water is to be recovered with a low salinity [11] and a higher rate of disinfection via aquifer passage may be achieved [12]. Upon aquifer storage, the water is supplied to the nearby football stadium, back to the biofiltration system (as irrigation for the plants), and a water feature. Both infiltration wells perform back-flushes every upon a defined volume of infiltration.

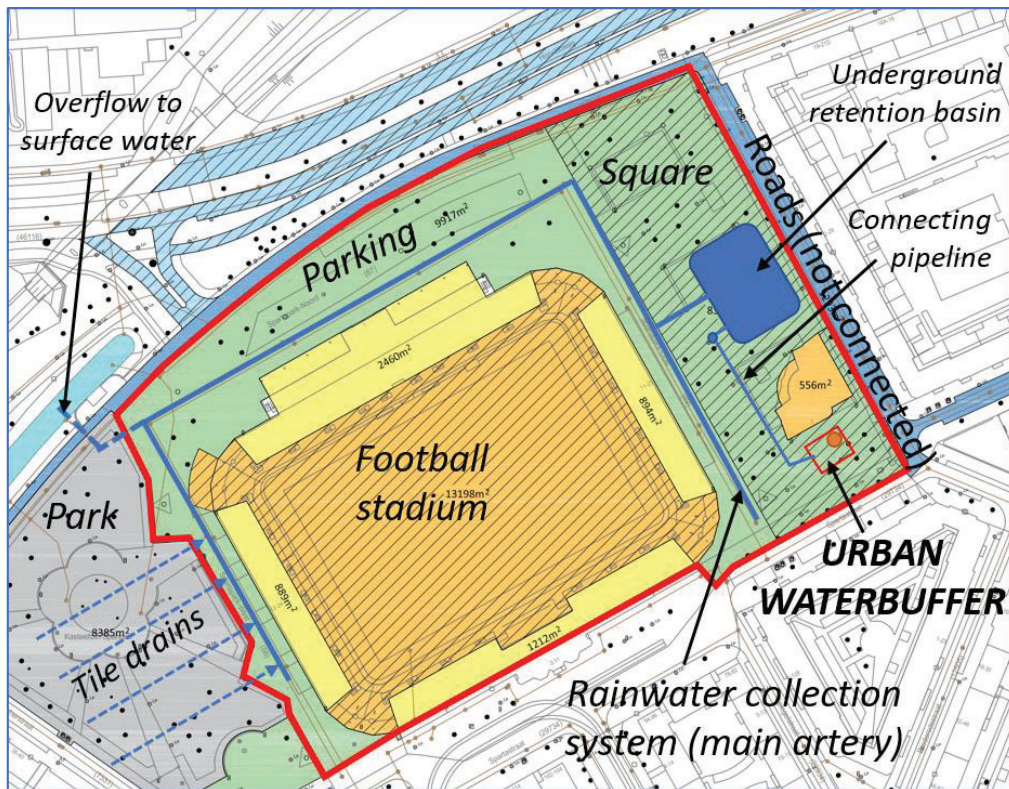


Figure 1. Top view of the Urban Waterbuffer field site in Spangen, Rotterdam. The rainwater collection system collects the water within the red line.

Table 1. Type of urban area discharging towards the Urban Waterbuffer Spangen

Type	Area (m ²)	Remark
Roof	6,000	Bitumen, Zinc
Paved	18,300	Bricks
Pitch + surrounding	13,200	Artificial grass and pavement
Park	8,400	Green, pavement
Total	45,900	Mixed

2.3 Monitoring of the Urban Waterbuffer

In order to understand the functioning of the Urban Waterbuffer, a broad monitoring program was set up. The monitoring consists of:

- Electronic water meters (type: Woltman; recorded every 30 minutes):
 - Water pumped to the biofiltration system
 - Water pumped to the standpipe
 - Water infiltrated in W1 and W2 (separately)

- Water recovered from W1 and W2 (separately)
- Water levels using pressure, EC, and temperature sensors:
 - Retention basin (pressure, every 30 minutes)
 - Biofiltration system (pressure, every 30 minutes)
 - Standpipe (pressure, every 30 minutes)
 - Water from retention basin (EC, every 30 minutes)
 - Water from W1 and W2 (EC, every 30 minutes)
- Monitoring well (MW) 1: conductivity, pressure, and temperature via CTD Divers (Van Essen, The Netherlands), every 15 minutes
- Water sampling and analysis (see Table 2) on the following parameters:
 - Macrochemistry: EC, pH, Temp, Dissolved Oxygen, Turbidity, Na, Cl, Ca, K, Mg, Fe, Mn, HCO₃, NH₄, NO₃, PO₄, SO₄, trace elements
 - Full scan: Macrochemistry, DOC, suspended solids, heavy metals, oil, BTEXN, PAH (EPA), glyphosate and AMPA, E.Coli, Enterococci, plate count (37 °C).

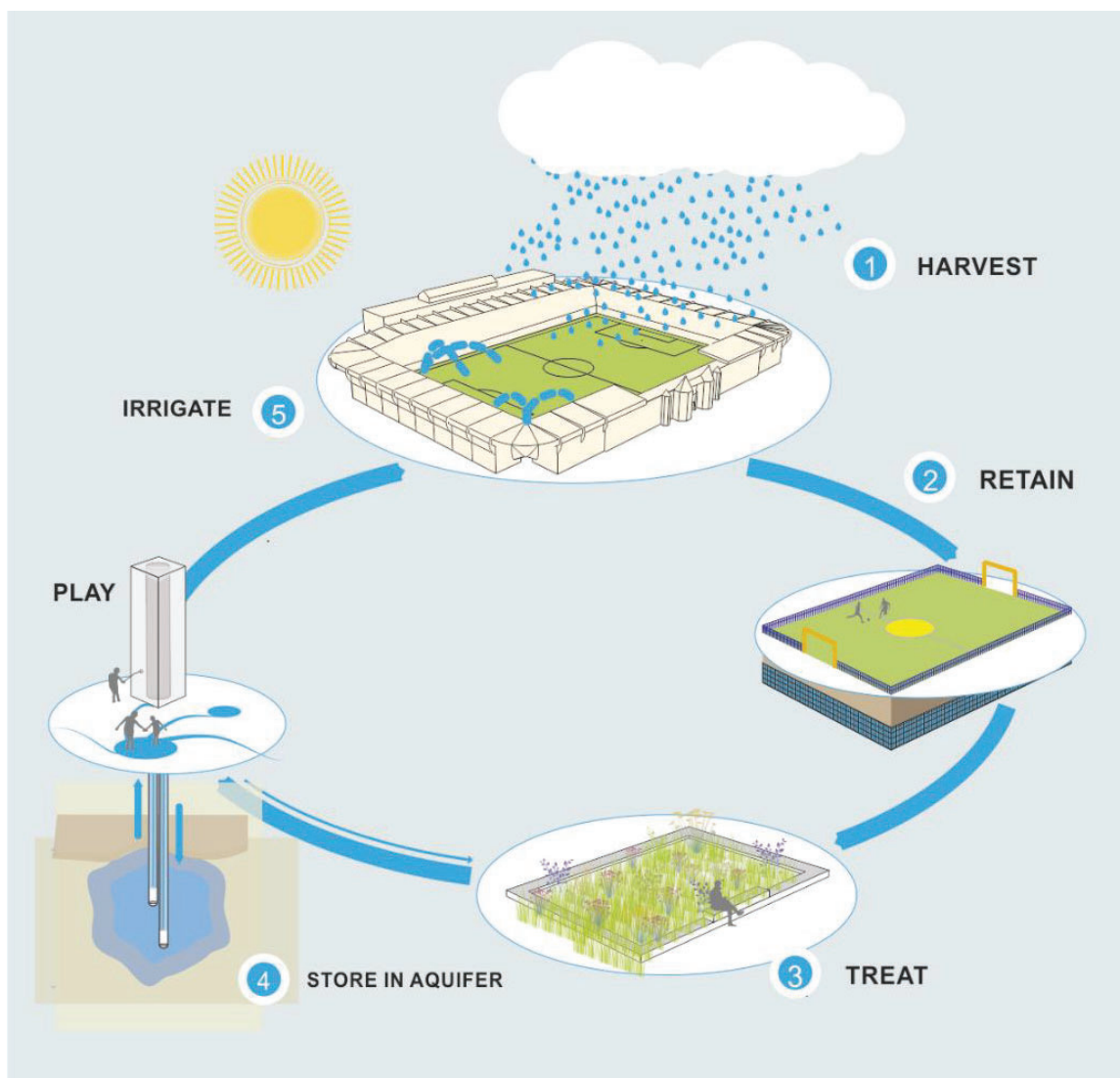


Figure 2. Outline of the Urban Waterbuffer in Spangen, Rotterdam.

Table 2. Water sampling at the Urban Waterbuffer Spangen.

Date: (dd-mm-yyyy)	15-5-2018	10-9-2018	24-9-2018	22-10-2018	12-11-2018	18-12-2018	14-1-2019	28-1-2019	26-2-2019	29-3-2019	22-4-2019	20-5-2019	
week #:	37	38	40	44	47	51	2	4	8	9	16	20	
Location	Analyses:												
Groundwater at MW1	[Sampling grid]												Macrochemistry
Rainwater	[Sampling grid]												Full scan
Infiltration water	[Sampling grid]												Full scan
Recovered water	[Sampling grid]												Full scan

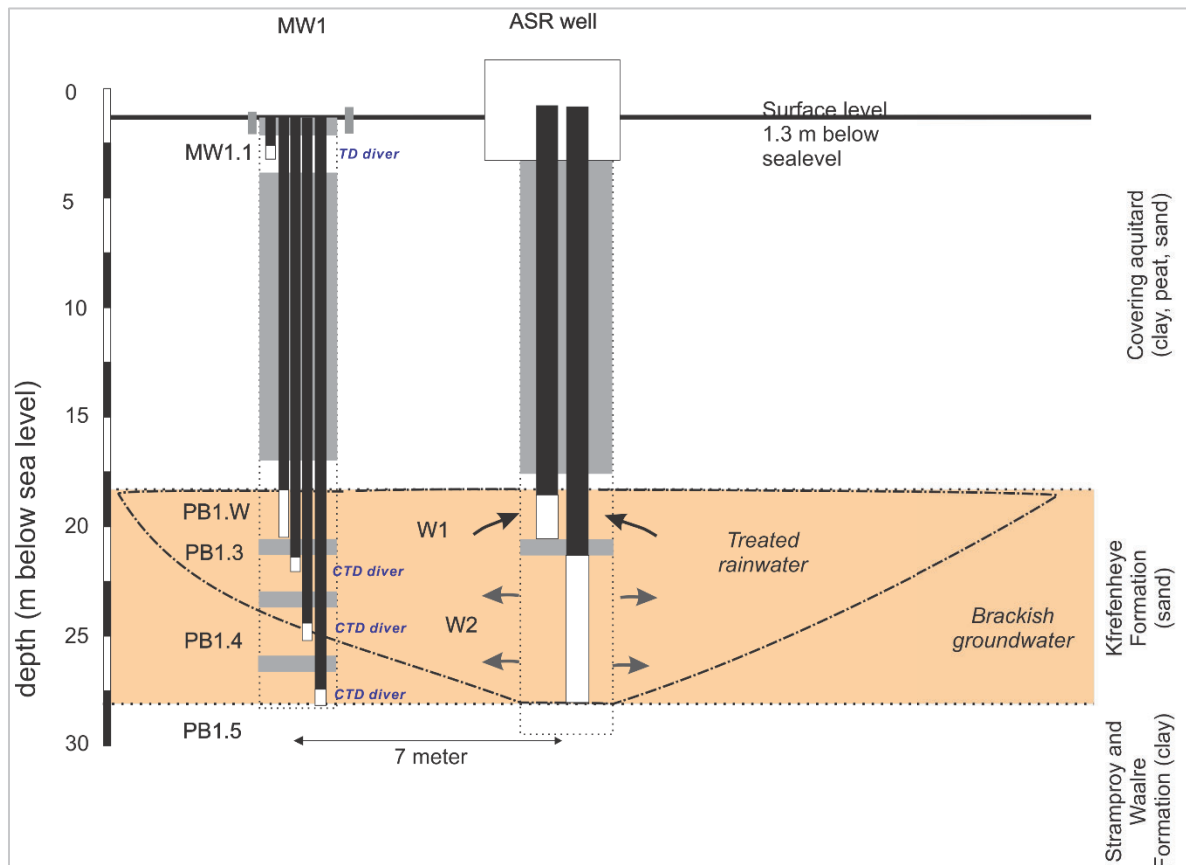


Figure 3. Cross-section of the ASR well and the monitoring well at the Urban Waterbuffer Spangen (Rotterdam).

3. Results

3.1. First operation of the Urban Waterbuffer Spangen

The operation of the Urban Waterbuffer started with a test phase of the biofilter. In this phase, the treated water (2390 m³) was disposed of on the Rotterdam sewerage system. Four grab samples were taken to assess its quality, before starting the infiltration. The water quality analysis results showed no concentrations above background levels (measured in May, 2018) or were

below target concentration, leaving no objections to infiltrate the water. This infiltration started early November (Figure 3b), using W1 only. After a stable infiltration rate in November, followed a decrease in December. In January, both W1 and W2 were used, while from February onward, only W2 was used for infiltration, as planned. In these periods, the infiltration rate remained relatively stable. During the first 4 months of operation, almost 4000 m³ of rainwater was infiltrated and around 500 m³ was recovered during back-flushes and irrigation of the football pitch. The Urban Waterbuffer was able to lower the basin level rapidly upon rainfall events (Figure 4a). The EC of the infiltration water was found to be remarkably high for rainwater, especially in periods with a low level in the retention basin. During moment with significant rainfall (like December 2018), a clear dilution was observed.

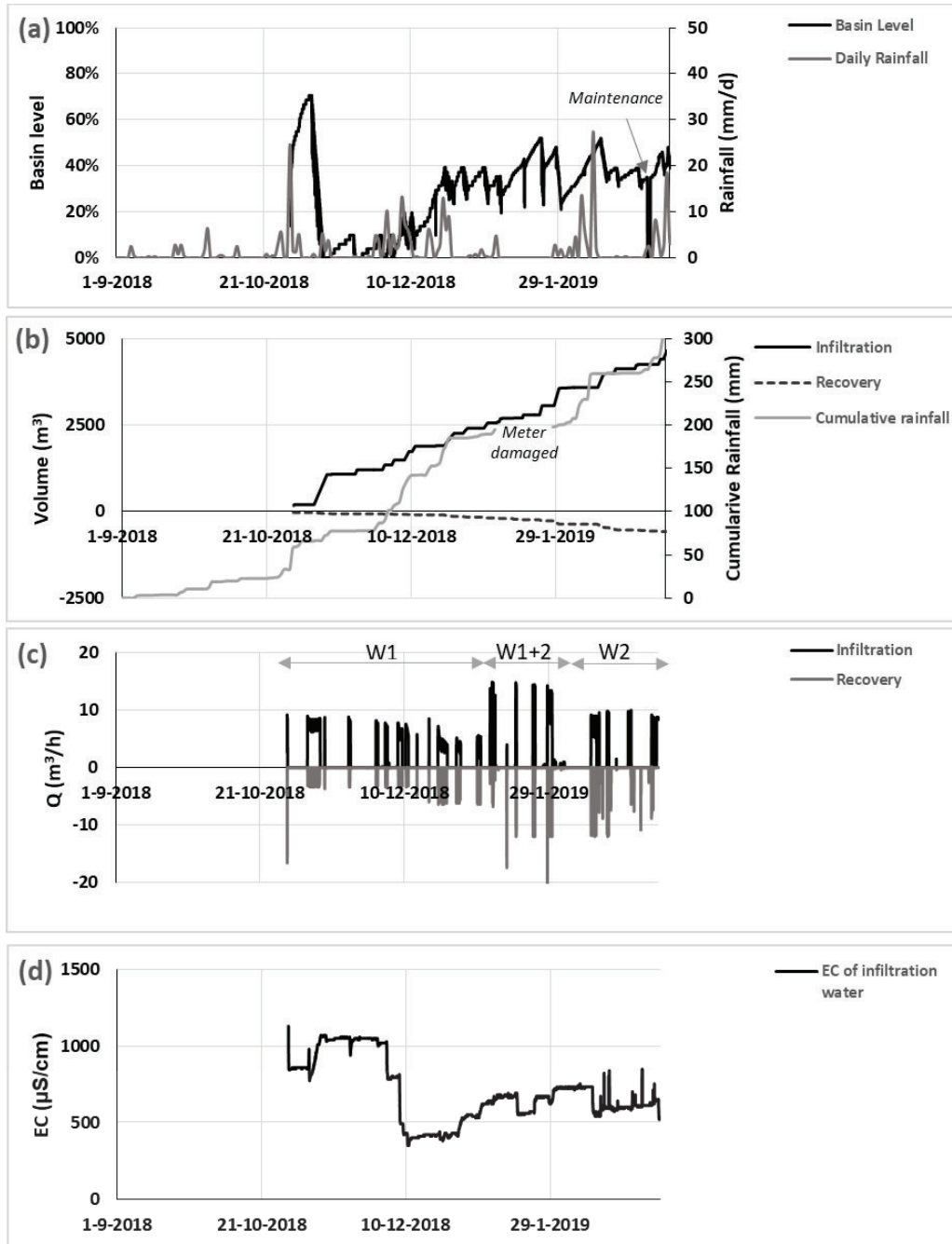


Figure 4. Electronically recorded data of rainfall and basin level (a), pumping (b, c), and EC (d) of the infiltration water.

3.2. Water quality analyses

The first rounds of water quality measurements show that the collected rainwater is already relatively clean, with only turbidity, suspended solids, total-Fe, DOC, and Zn exceeding the targeted concentrations. Thanks to a 73% decrease in Zn concentration, there were no chemical legal exceedances in the infiltration water. The high removal may be explained by the fact that more than half of the Zn in Dutch rainwater is bound to particles [13], which will be largely removed in the biofilter.

The remaining parameters of concern relate to increased risk of physical, chemical, and biological well clogging. Especially the high incoming concentrations of iron (merely dissolved, as shown by additional analysis in October 2018) can have strong negative impact on well clogging, despite a 35% removal by the biofilter. The 40% reduction in infiltration capacity observed at W1 in December 2018 (Figure) coincided with a firm peak in the Fe concentration in the infiltration water (up to 1.8 mg/l). Its source was found to be shallow groundwater intruding the rainwater collection system via tile drains and leakages, as was later found by mapping the Fe concentrations in the rainwater system. This source was confirmed by the composition of the shallow groundwater, which was sampled in a shallow piezometer installed centrally at the square and showed high Cl, Na, NH₄, and Fe concentrations.

Based on the plate count results, the biofilter did not perform any disinfection. On the contrary, there was even a slight increase observed, which might be due to the fact that the biofilter is accessible for public and animals (pets). The results suggest that the main disinfection step is provided by the aquifer only. Analysis on E.Coli and enterococci were unfortunately performed with a too high detection limit. Therefore, they could not provide any useful information.

The water quality arriving at MW1.2 does not show distinct changes with respect to the infiltration water: the observed concentrations are within the ranges observed during infiltration and the lower Na, Cl, and NH₄ concentrations in combination with the higher Fe concentrations suggest that the observed water was infiltrated in December 2018.

4. Discussion

In this paper, the concept of the Urban Waterbuffer and the first results during operation are presented. Based on the realization and the first monitoring results, it appears that a viable concept of urban ASR has come available, but also that certain critical issues require further attention.

The main issue relates to the clogging potential created by the infiltration water. High concentrations of Fe were observed in the incoming rainwater and were insufficiently removed by the biofilter. The implication is that stimulated aeration is required before or while the water enters the biofilter to enhance iron precipitation and enable removal by the sand filtration in the biofilter. Also removal of suspended solids and DOC were found to be too low to ensure stable infiltration without clogging. Further research must focus on the performance of the biofilter during prolonged operation with further build-up of a Schutzdecke on top to increase removal of particles [14] and the growth of the vegetation in the next summer season, which may positively impact the DOC removal [15].

Another critical issue is the safe reuse of the stored water upon recovery. In the concept, aquifer passage is essential for disinfection and subsequent safe use of the rainwater, since the biofilter will presumably not perform sufficient disinfection. Although the water is injected deeper in the aquifer with respect to the zones of recovery, short flow paths between W2 and W1 and therefore short residence times may exist when recovery follows quickly after injection, which may result in insufficient removal of bacteria and viruses. This needs careful evaluation

via for instance a QMRA [16] and if needed: a modification in the control system to prevent recovery for a certain time after infiltration.

To be demonstrated is the final recovery efficiency of the chosen set-up, with a long well screen for injection in the lower ~2/3 of the aquifer and a very short well screen for recovery at the top, a concept that can significantly enhance freshwater recovery [11]. In that context, the experienced, relatively elevated EC of the stormwater at the UWB in Spangen due to the intrusion of shallow groundwater, Rotterdam can be beneficial by limiting the density difference ratio [17].

5. Conclusions

A local urban ASR set-up using collected rainwater was developed and tested in the city of Rotterdam to prevent pluvial flooding and provide non-potable water. The pre-treatment was based on biofiltration system at street level. It was found technically viable to realize and operate this ASR scheme and supply water with an apparently acceptable quality. The risk of groundwater contamination was found to be limited after the removal of zinc by the biofilter. The main operational risk was found to be the high concentration of Fe passing the biofilter and potentially DOC and suspended solids, which may induce clogging of the ASR well. A clear decrease in infiltration capacity was found to coincide with high concentrations of Fe in the infiltration water, underlining that a higher degree of Fe removal is required. A closer assessment of microbial risks is required, in which the disinfection provided by the target aquifer will be a crucial aspect.

Table 3. Water sampling at the Urban Waterbuffer Spangen

	EC	pH	Turbidity	DO	Susp. solids	Cl	Na	Ca	K	Mg	Fe-tot	Mn-tot	HCO3	NH4	NO3	P-Phosphate	SO4	DOC	As
	mS/m	-	NTU	mg/L	mg/L	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg NO3/l	mg P/l	mg/l	mg C/L	µg/l
Legal limits infiltration					0.5	100	120	-	-	-	-	-	-	3.2	50	6.9			18.7
Operational limits infiltration [18]			1.0		0.2						10								2
Limits recovery						500	350				500		150						
Native groundwater (4)	4135	6.8				1110	558	180	16	75	11875	1073	738	27.0	0	0.18	0.6		
Rainwater (7)	800	7.5	7.7	3.1	5.6	113	68	60	5.7	14.2	1251	407	189	1.0	0.7	0.06	42	12.0	<4
Infiltration (7)	810	7.5	3.1	2.3	2.1	123	72	60	6.1	13.7	817	254	184	0.7	0.3	0.05	47	6.6	<4
MW1.2 (Feb 26)	639	7.8	2.2	0		70	44	72	5.1	12	1800	210	210	0.55	0.0	0.05	37		
Recovered (2)	673	7.5	3.3	1.4	5.3	59	39	76	4.8	9.7	570	122	235	1.0	0.0	0.12	38	9.8	6.2
	Ba	Cd	Co	Cu	Hg	Pb	Mo	Ni	Zn	Nafthalene	SUM PAH (EPA)	Benzene	Ethylbenzene	Toluene	SUM xylenes	Mineral oil	AMPA	Glyphosate	Plate count
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	kve/mL
Legal limits infiltration	500	0.35	0.7	1.3	0.01	7.4	3.6	20	65	0.01	-	0,2	4	7	0,2	50	<0.1	<0.1	
Operational limits infiltration ^[18]																			
Limits recovery																			
Native groundwater (4)																			
Rainwater (7)	42	<4	<2	<5	<0.02	<5	<2	<5	155	<0.05	0.2	<0,2	<0,2	<0,2	0.2	<50	0.03	<0.01	440
Infiltration (7)	36	<4	<2	<5	<0.02	<5	12 ^a	11	42	<0.05	0.2	<0,2	<0,2	<0,2	0.2	<50	0.04	<0.01	470
Recovered (2)	37	<4	<2	<5	<0.02	<5	2.2	9.3	37	<0.05	0.2	<0,2	<0,2	<0,2	0.2	<50	0.08	<0.01	65

^a Only 1 of 7 samples had a concentration of 63 µg/l, the other 6 were <2 µg/l.

Acknowledgments: The project is co-financed by the premium scheme of the Top Sector Alliances for Knowledge and Innovation (TKIs) of the Ministry of Economic Affairs and Climate Policy.

Author Contributions: Koen Zuurbier is the main researcher in this project. Evaluation of the biofilter is supported by Wilrik Kok. Bert de Doelder is coordinating the UWB realization and operation. Boris van Breukelen contributed to the set-up of the monitoring and the water quality analyses and interpretation.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. McDonald, R.I., et al., *Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure*. Global Environmental Change, 2014. 27: p. 96-105.
2. Erkens, G., et al., *Sinking coastal cities*. Proc. IAHS, 2015. 372: p. 189-198.
3. Werner, A.D., et al., *Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges*. Advances in Water Resources, 2013. 51(0): p. 3-26.
4. United Nations, *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*, U.N.E.a.S. Affairs, Editor. 2018. p. 2.
5. Hughes, S., E.K. Chu, and S.G. Mason, *Climate change in cities*. Innovations in Multi-Level Governance. Cham: Springer International Publishing (The Urban Book Series), 2018.
6. Bekele, E., et al., *Water Recycling via Aquifers for Sustainable Urban Water Quality Management: Current Status, Challenges and Opportunities*. Water, 2018. 10(4): p. 457.
7. Dillon, P., *Future management of aquifer recharge*. Hydrogeology Journal, 2005. 13(1): p. 313-316.
8. Vanderzalm, J.L., et al., *A comparison of the geochemical response to different managed aquifer recharge operations for injection of urban stormwater in a carbonate aquifer*. Applied Geochemistry, 2010. 25(9): p. 1350-1360.
9. Hatt, B.E., A. Deletic, and T.D. Fletcher, *Integrated treatment and recycling of stormwater: a review of Australian practice*. Journal of environmental management, 2006. 79(1): p. 102-113.
10. Page, D., et al., *Effect of aquifer storage and recovery (ASR) on recovered stormwater quality variability*. Water research, 2017. 117: p. 1-8.
11. Zuurbier, K.G., W.J. Zaadnoordijk, and P.J. Stuyfzand, *How multiple partially penetrating wells improve the freshwater recovery of coastal aquifer storage and recovery (ASR) systems: A field and modeling study*. Journal of Hydrology, 2014. 509(0): p. 430-441.
12. Smeets, P.W.M.H., G.J. Medema, and J.C. van Dijk, *The Dutch secret: how to provide safe drinking water without chlorine in the Netherlands*. Drink. Water Eng. Sci., 2009. 2(1): p. 1-14.
13. Boogaard, F. and G. Lemmen, *De feiten over de kwaliteit van afstromend regenwater*. 2007. p. 20.
14. McNair, D.R., et al., *Schmutzdecke Characterization of Clinoptilolite-Amended Slow Sand Filtration*. Journal - American Water Works Association, 1987. 79(12): p. 74-81.
15. Stein, O.R. and P.B. Hook, *Temperature, Plants, and Oxygen: How Does Season Affect Constructed Wetland Performance?* Journal of Environmental Science and Health, Part A, 2005. 40(6-7): p. 1331-1342.
16. Smeets, P.W.M.H., et al., *Practical applications of quantitative microbial risk assessment (QMRA) for water safety plans*. Water Science and Technology, 2010. 61(6): p. 1561-1568.
17. Zuurbier, K., et al., *Identification of potential sites for aquifer storage and recovery (ASR) in coastal areas using ASR performance estimation methods*. Hydrogeology Journal, 2013. 21(6): p. 1373-1383.
18. Russel, M., (ed.), *Clogging issues associated with managed aquifer recharge methods*, ed. I.C.o.M.A. Recharge. 2013. 212.