



**Kenniscentrum
Duurzame HavenStad**

RAAK MKB PROJECT *DE INFILTRERENDE STAD*

WERKPAKKET 3: INNOVATIES ONDERZOEKEN IN PROEFOPSTELLING

30 november 2020
Definitieve rapportage

Naam auteur(s)

Dr. Ir. Floris Boogaard (Hanzehogeschool Groningen) en ir.
Jonathan Lekkerkerk (Hogeschool Rotterdam)

Reviewers:

Dr. ir. Rutger de Graaf-van Dinther Dr. ir. Anne Leskens
(Hogeschool Rotterdam) en Dr. ir. Jeroen Kluck, Dr. Ted
Veldkamp (Hogeschool van Amsterdam)

Eindredacteur

Dr. Ir. Floris Boogaard (Hanzehogeschool Groningen)

Datum

33 november 2020

Status

Definitieve rapportage

Verspreiding

Pas na goedkeuring Consortium

INHOUDSOPGAVE

1.	Inleiding	4
2.	Werkpakket 3: Innovaties onderzoeken in proefopstelling	6
2.1.	De WaterStraat	6
2.2.	Activiteit 3.1 Methodiek onderzoek infiltratiecapaciteiten voor proefopstelling	7
2.3.	Innovaties op de WaterStraat uit het consortium	9
2.4.	Activiteit 3.2: Onderzoek infiltratiecapaciteiten in proefopstelling	10
3.	Conclusies en aanbevelingen	19
3.1.	Discussie	20
3.2.	Algemene aanbevelingen	20
4.	Referenties (meer info)	22

1. Inleiding

Klimaatverandering en veranderend landgebruik zetten het leefklimaat en het watersysteem in de stad steeds meer onder druk (GCA 2019¹, IPCC 2019²). Als gevolg van het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie, dat eind september 2017 is gepresenteerd in Den Haag, moeten alle gemeenten vanaf 2020 bij herinrichting rekening houden met de klimaatveranderingen en de stad klimaatbestendig inrichten. Met het Deltaplan moet Nederland zo goed mogelijk worden voorbereid op de gevolgen van klimaatverandering (NOS).

Eén van de manieren om klimaatbestendiger te worden is ervoor te zorgen dat meer regenwater in de bodem infiltreert en minder hoeft te worden afgevoerd via het rioolstelsel. Dit beperkt problemen met wateroverlast, hitte en verdroging. Enige jaren geleden hebben we in Nederland daarom voor het stedelijke waterbeheer ingezet op het meer infiltreren van regenwater in de bodem in plaats van het afvoeren van regenwater naar het rioolstelsel. Dit heeft voordelen als minder wateroverlast, minder belasting van de riolerings-, zuiverings- en oppervlaktewatersystemen, en bovendien gaat het verdroging tegen. In diverse gemeenten zijn dan ook infiltrerende verhardingen aangelegd als alternatief voor een regenwaterriool om het regenwater vast te houden, te bergen en daarna pas af te voeren.

Door de opkomst van doorlatende verhardingen heeft de afgelopen tien jaar een groot aantal MKB-ondernemingen zich toegelegd op het aanbieden van infiltrerende verhardingen en onderliggende systemen. Door problemen met de afname van infiltratiesnelheid, en onduidelijkheid over beheer en onderhoud zakt de markt momenteel in. Vele gemeenten besluiten na enkele praktijkmetingen de aanleg van doorlatende verharding sterk te verminderen en of hiermee geheel te stoppen. Dit is echter vaak gebaseerd op een beperkt aantal (onnauwkeurige) metingen en zonder onderscheid voor de verschillende soorten infiltrerende verharding en innovaties. De MKB-ondernemingen zitten met de vraag hoe ze hun doorlatende verharding (en onderliggende systemen) zo kunnen aanpassen dat gemeenten en andere inrichters van straten erin blijven geloven en het aan blijven leggen. Ze willen daartoe meer inzicht in het functioneren van de doorlatende verharding op de lange termijn uitgevoerd door onafhankelijke onderzoekers van hogescholen. Hiermee kunnen zij het product optimaliseren alsmede het beheer en onderhoud ervan. Dit zijn essentiële ingrediënten om naar hun klanten overtuigend over hun goed functionerende systemen te kunnen vertellen. Er bestaat een duidelijke noodzaak voor meer inzicht, innovatie, en richtlijnen voor beheer en onderhoud.

Het project 'Infiltrerende stad' uitgevoerd door 3 hogescholen (Rotterdam, Groningen en Amsterdam)³ heeft als doel het kennishiaat van de effectiviteit van infiltrerende verharding aanpakken ten behoeve van de innovatieve MKB-ondernemingen. Hierbij gaat het om het verkrijgen van meer inzicht in het korte en lange termijn functioneren van hun producten. Daarnaast betreft het de opbouw van inzicht omtrent de noodzaak tot beheer en onderhoud om de effectiviteit op lange termijn te waarborgen.

Het consortium, bestaande uit een unieke samenwerking van 3 hogescholen, 9 MKB-ondernemingen met verschillende en overlappende disciplines en een tweetal organisaties die MKB's op dit vakgebied ondersteunen, slaan de handen ineen om infiltrerende verharding te monitoren en kennis te ontsluiten voor de opgave waar steden voor staan: de transformatie naar een veerkrachtige en klimaatadaptieve gebouwde omgeving.

De Infiltrerende Stad wordt uitgevoerd met ondersteuning van een RAAK-MKB subsidie en is een samenwerking tussen de Hogeschool Rotterdam (penvoerder), Hogeschool van Amsterdam, Hanzehogeschool Groningen, Aquaflow BV, Bufferblock BV, Building Changes, Drainvast BV, Germieco, Water Innovation Consulting (Hemels water), Markus BV, EWB, Van Gelder

¹ Global Commission on Adaptation Adapt Now: A Global Call for Leadership on Climate Resilience; Global Center on Adaptation: Groningen/Rotterdam, The Netherlands, 2019. Available online: https://cdn.gca.org/assets/2019-09/GlobalCommission_Report_FINAL.pdf (accessed on 27 April 2020).

² Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems. Summary for Policymakers. Geneva: IPCC. 2019. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/srccl/> (accessed on 15 August 2019).

³<https://www.hogeschoolrotterdam.nl/onderzoek/projecten-en-publicaties/duurzame-havenstad/Water/Infiltrerendestad/projectbeschrijving/>

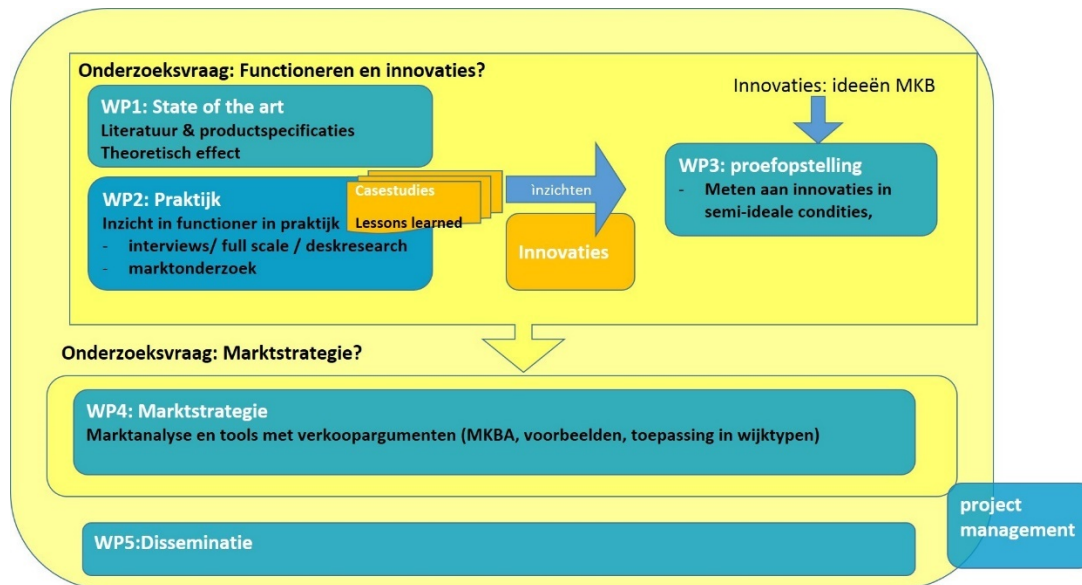
<https://www.hanze.nl/nld/onderzoek/kenniscentra/kenniscentrum-noorderruimte/infiltrerende-stad>

<https://www.hva.nl/kc-techniek/gedeelde-content/projecten/projecten-algemeen/infiltrerende-stad.html>

Aannemingsbedrijf, Gemeente Bergen, Gemeente Groningen, Gemeente Rotterdam en het Hoogheemraadschap van Delfland.

2. Werkpakket 3: Innovaties onderzoeken in proefopstelling

Het doel van dit werkpakket is om innovaties nader te onderzoeken en het functioneren aan te tonen of te verbeteren aan de hand van de inzichten. Hiertoe wordt gebruikt gemaakt van de meetlocatie WaterStraat op de Green Village van TU Delft, een initiatief van VP Delta. Hierin kunnen we (onder semi-ideale omstandigheden op een praktijksituatie) innovaties onderzoeken en testen.



Figuur 2-1: Onderzoeksvraag en werkpakketten.

2.1. De WaterStraat

Sinds september 2018 wordt er in het kader van RAAK-SIA door verschillende hogescholen en MKB - bedrijven invulling gegeven aan het project De Infiltrerende stad. In dit project is het functioneren van infiltrerende verhardingen en bufferende voorzieningen die gestoeld zijn op het principe van infiltratievermogen onder ideale omstandigheden en in praktijksituaties onderzocht. In de Proeftuin WaterStraat, Green Village van TU Delft zijn verschillende innovaties getest op hun werking onder ideale omstandigheden (vers na realisatie van de voorziening).

De WaterStraat is een onderzoeks- en demonstratieterrein voor klimaatadaptieve oplossingen gelegen op het terrein van The Green Village. Onder klimaatadaptieve oplossingen verstaan we nieuwe innovatieve manieren om met het veranderend klimaat in Nederland om te gaan, zoals aanhoudende droogte, piekbuien en stijgende temperaturen. De WaterStraat is een initiatief van The Green Village, Hoogheemraadschap Delfland en VPdelta.



Figuur 2-2: Impressie van de WaterStraat, een unieke onderzoeksfaciliteit voor het testen van infiltrerende verharding

2.2. Activiteit 3.1 Methodiek onderzoek infiltratiecapaciteiten voor proefopstelling

Doel: Vergelijkbare onderzoeken uitvoeren aan innovaties in de proefopstelling.

Activiteiten: Onderzoeksmethoden uit systeemanalyse vergelijken en afwegen.
 Meetplannen opstellen voor infiltratieproeven, voor proeven om de afname van infiltratiecapaciteiten ten gevolge van dichtslibben te onderzoeken en voor proeven om de effectiviteit van strategieën van beheer en onderhoud te onderzoeken (om de infiltratiecapaciteit goed te houden). Voor deze onderzoeken maken wij gebruik van de WaterStraat waar we semi-gecontroleerde omstandigheden kunnen instellen.

Resultaat: Overzicht onderzoeksmethoden en prioritering voor toepassing in proefopstelling Waterstraat.

2.2.1. Meetmethodiek full scale testen

De meeste doorlatende verhardingen in Nederland zijn één decennia geleden veelal als pilots aangelegd. Al snel kwamen op enkele locaties problemen naar voren als; breken van doorlatende stenen bij vorst, onkruidgroei, verpulveren van grid tussen de stenen, afname van infiltratiecapaciteit en onduidelijkheid over beheer. Sinds 2011 zijn in het kader van EU Interreg project Skills Integration and new Technologies (SKINT) eerste metingen gedaan naar doorlatende verharding met infiltrometer testen. De variatie van onderzoeksresultaten bij deze testen en in de jaren erna (2011-2020)⁴, vroeg

⁴ Zie referenties (uit pva infiltrerende stad): Boogaard F.C., Blanksby J., Ven F., Chris Jefferies, Transnational knowledge exchange on SUDS case study: permeable pavement, aquatech Hamburg Germany 2011.
 Lucke T, Beecham S, Boogaard F.C. Baden M., Are Infiltration Capacities of Clogged Permeable Pavements Still Acceptable? Les capacités d'infiltration de revêtement poreux "colmatés" restent-elles acceptables?, NOVATECH 2013.
 Boogaard F.C., Lucke T, Giesen N, Ven F, Evaluating the Infiltration Performance of 10 Dutch Permeable Pavements Using a New Full-scale Infiltration Testing Method, Journal Water 2014.
 Lucke T, Boogaard F., van de Ven F., Evaluation of a new experimental test procedure to more accurately determine the surface infiltration rate of permeable pavement systems, DOI:10.1080/21650020.2014.893200, pages 22-35, Urban, Planning and Transport Research, 10 Mar 2014

om een nauwkeurigere meetmethode 'full scale testen' die ontwikkeld en toegepast is bij diverse gemeenten (zie rapportage Werkpakket 2).

Bij deze methode die ook wel 'floodfighting'⁵ wordt genoemd worden hele straten onder water gezet of de gehele ondergrondse berging gevuld van ondergrondse infiltratievoorzieningen om nauwkeurigere metingen te krijgen en gemeenten en waterschappen inzicht te geven in het daadwerkelijk functioneren van infiltratievoorzieningen. Hiermee kunnen gemeenten en waterschappen en andere partijen een weloverwogen keuze te maken om de verhardingen en infiltratievoorzieningen wel of niet toe te passen. De full scale metingen zijn op diverse plekken in Nederland uitgevoerd, met name in laag Nederland omdat daar veel twijfels zijn over het infiltreren bij hoge grondwaterstanden en slecht doorlatende bodem. Op basis van de testen (zie referenties en rapportage Werkpakket 2) blijkt dat er veel variatie is in de metingen en veel factoren van invloed zijn op het hydraulisch functioneren van doorlatende verhardingen. In werkpakket 2 is getracht een relatie te leggen tussen het functioneren en de diverse factoren die van invloed (kunnen) zijn op het functioneren. Dit is lastig in de praktijk gezien er veel factoren zijn en de onderzoekers niet betrokken waren bij ontwerp, aanleg en beheer. In een meer gecontroleerde omgeving zoals de WaterStraat kun je enkele factoren uitsluiten en proeven doen zoals het effect van dichtslibbing.

De full-scale testmethode is een proef waarbij een zo groot mogelijk oppervlak wordt belast met een bekend volume en waarbij lekverliezen zoveel mogelijk worden beperkt door het afdichten van voegen in het straatoppervlak. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van zandzakken met folie waarmee voegen zo goed mogelijk worden afgedicht, daarnaast wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande trottoirbanden. Na afdichten van het proefvlak wordt (lieftst) een bekend volume water ingelaten tot een hoogte van ca. 10 cm en wordt middels automatische druksensors (divers, tabel 2-2) de waterstand geregistreerd. De relatieve daalsnelheid na maximale vulling is een goede maat voor het bepalen van het gemiddeld functioneren van het straatvlak zeker doordat het testoppervlak groter is dan de dubbele ringmethode en daarmee het aandeel van het lekverlies beperkt(er) is.

Boogaard F., Lucke T., Dierkes C., Wenkink R., Akkerman O. International long-term efficiency of stormwater infiltration by permeable pavement, International waterweek 2015, 3 November 2015, Amsterdam.

F. Boogaard, F. Harten, T. Lucke. Long term infiltration capacity of permeable pavement determined with new full scale test method, 14th IWA/IAHR international conference on urban drainage (ICUD), 10-15 September 2017, Prague.

⁵ 'Flood fighter', research on floodings in the urban area: <https://www.youtube.com/watch?v=R14BajCwU6w>

Boogaard F., Feringa K., Hof A., Kluck J., Floodfighting in Almere: Onderzoeksresultaten hydraulisch functioneren wadis en doorlatende verharding in Almere, h20, 2016

Boogaard F.C., Rozendaal B. Steenbruggen G.P.R, Overschatten we het hydraulisch functioneren van wadi's en doorlatende verharding?, H2o online, 21 juni 2017.

2.3. Innovaties op de WaterStraat uit het consortium

Op de WaterStraat zijn innovaties aanwezig van de volgende MKB partners die participeren in dit onderzoek:

- **EWB (gesloten systeem)**
- **Bufferblock (infiltratie systeem)**
- Hemel(s)water (geen infiltratie: model testen met Hogeschool van Amsterdam)
- Drainvast BV (door leverancier niet representatief op WaterStraat geacht dus getest in praktijk, dus zie werkpakket 2)
- Aquaflow (door leverancier niet representatief op WaterStraat geacht dus getest in praktijk, dus werkpakket 2)

Visualisaties (zoals timelapse films) over de proeven zijn per bedrijf vastgelegd op open source platform [climatescan.org](https://www.climatescan.org)⁶, zie tabel 2-1. Alle video's en foto's van evenementen ter bevordering bekendheid MKB's en het onderzoek kunt u vinden op <https://www.climatescan.org/projects/2477/detail>. De eerste 2 innovaties (EWB en Bufferblock) worden in dit rapport beschreven, voor de overige verwijzen we naar de rapportages van werkpakket 1 en 2.

In onderstaande tabel zijn de innovaties op de WaterStraat uit het consortium opgenomen met meer informatie.

Producent	Innovatie	Meer info (Website WaterStraat/ climatescan.nl)
WaterStraat Algemeen	WaterStraat op Green Village	https://www.thegreenvillage.org/projects/waterstraat Voor onderstaande innovaties kunt u ook climatescan bezoeken met films gerelateerd aan full scale testen: Project "infiltrerende stad' met Floodfighting: full scale testing of permeable pavement and bio-swales op oa WaterStraat Delft • proeftuin Fieldlabs https://www.climatescan.org/projects/2477/detail
EWB	Urban Rainshell	EWB op WaterStraat, • Ondergrondse infiltratie Infiltrerende verharding is niet primaire functie op WaterStraat) https://www.climatescan.org/projects/2400/detail https://vpdelta.nl/nl/innovaties/startup/urban-rainshell
Bufferblock	Bufferblock	Bufferblock in de WaterStraat, waterberging / ondergrondse infiltratie (infiltrerende verharding is niet primaire functie op WaterStraat) https://www.vpdelta.nl/nl/nieuws/bufferblocks-in-proeftuin-de-waterstraat en https://www.climatescan.org/projects/2398/detail
Hemel(s)water	Hemel(s)water	https://www.thegreenvillage.org/projects/hemelswater https://www.vpdelta.nl/nl/nieuws/hemelswater-test-op-de-waterstraat en https://www.climatescan.org/projects/4298/detail
Drainvast BV	Drainvoeg	https://www.drainvast.nl
Aquaflow	flowsand	https://aquaflow.nl / https://www.vpdelta.nl/nl/innovaties/startup/aquaflow

Tabel 2-1: Innovaties op de WaterStraat uit het consortium.

⁶ Boogaard F., Klomp T., Palsma B., Maneschijn M., Climatescan: internationale kennisuitwisseling klimaatbestendige steden, land en water maart 2017

2.4. Activiteit 3.2: Onderzoek infiltratiecapaciteiten in proefopstelling

Doel: Inzicht in de infiltratiesnelheden van innovaties van systemen van infiltrerende verhardingen en onderliggende systemen. Het gaat hierbij om de infiltratiecapaciteiten, de afname hiervan ten gevolge van dichtslibben en het beheer en onderhoud om de infiltratiecapaciteit goed te houden.

Activiteiten: Meedenken met installatie van innovaties op proefopstelling - teneinde de juiste sensoren te kunnen plaatsen. Uitvoeren infiltratieproeven en andere bedachte proeven.

Resultaat: Meetgegevens innovaties waaronder: infiltratiecapaciteit, bodemvocht, invloed omgevingsfactoren op parameters.

Apparatuur: Er zijn fullscale metingen uitgevoerd zoals bij 2.3 waarbij grote oppervlakken en of onderliggende systemen (berging) hydraulisch zijn belast. Bij de voorzieningen in proefopstellingen zijn bij vervuilingproeven tevens bodemvochtmeters aangebracht en vaste opstellingen voor time-lapse foto en video's. De dataloggers zijn in peilbuizen, kolken en putten aangebracht. Tevens is een (extra) weerstation op de WaterStraat geïmplementeerd die de klimatologische omstandigheden vastlegt (neerslag, temperatuur, verdamping, etc).

Resultaat: Meetgegevens weersomstandigheden, bodemvocht, infiltratiecapaciteit, grondwaterstand.

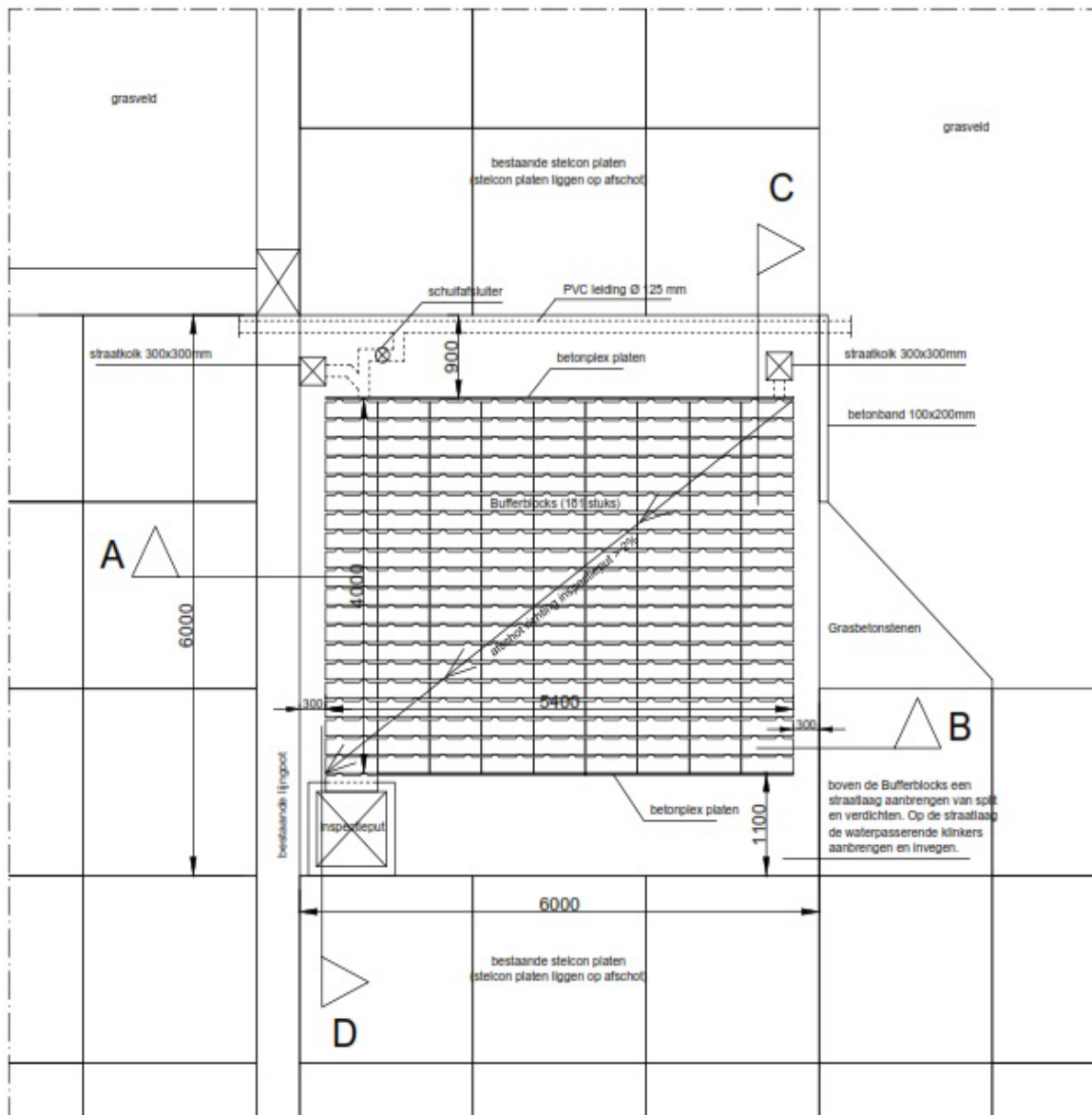
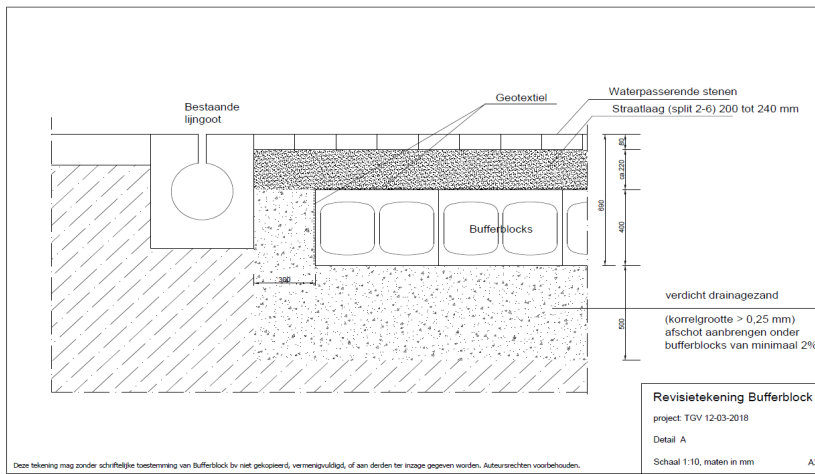
Naam apparatuur	Functie op WaterStraat	Merk/leverancier	Type	Parameters/ Specifications
TD diver	Metten waterstanden en temperatuur	Eijkelkamp	Multi-parameter probe	Temperatuur
Bodemvochtmeters	Metten bodemvocht	Delta-T Devices	PR2/6 Profile Probe	Bodemvochtgehalte (in% m ³ /m ³)
H2G0 meters	Metten waterstanden (waterhoogte en druk) temperatuur en geleidbaarheid	Leiderdorp Instruments/ Indutrade AB	Waterdruk fysiek Waterhoogte akoestisch temperatuur in sensor temperatuur in logger	Waterhoogte en druk, geleidbaarheid en temperatuur in water en atmosfeer
Peilbuis	Monitoren van grondwaterstanden (en effect van proeven)	Levellog	Waterhoogte akoestisch	Waterhoogte, temperatuur en luchtdruk
Weerstation Vantage pro2	Loggen belangrijkste meteorologische gegevens	Davis	Vantage pro2 ((Wireless))	Neerslag, temperatuur, windkracht -en richting
CTD Diver		Van Essen Instruments, Delft, The Netherlands	Multi-parameter probe	EC, temperatuur, (water)druk
GoPro 3+ and 5		GoPro, San Mateo, USA	Camera (Submersible)	40m depth rating

Tabel 2-2: Toegepaste apparatuur bij metingen op de WaterStraat.

2.4.1. Resultaten Bufferblock

De proefopstelling en meetapparatuur is in figuur 3 weergegeven.

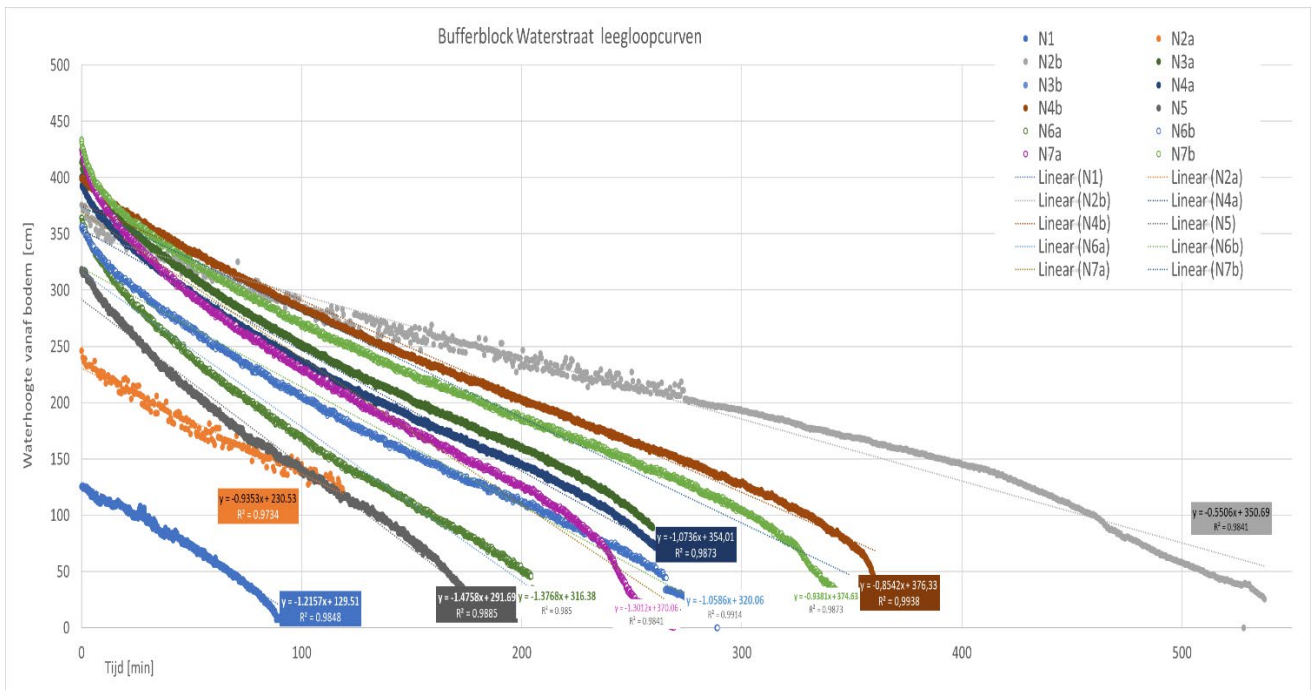
Voor details van Bufferblock wordt verwezen naar de rapportages van Werkpakket 1.





Figuur 2-3: Opstelling Bufferblock bovenaanzicht en zij aanzicht en foto's van (net na) aanleg⁷.

Met de apparatuur (zie tabel 2-2) en opstelling zijn doorlatendheden onderzocht van Bufferblock. In figuur 2-4 zijn de leegloopcurven te zien.



Figuur 2-4: Leegloopcurven Bufferblock

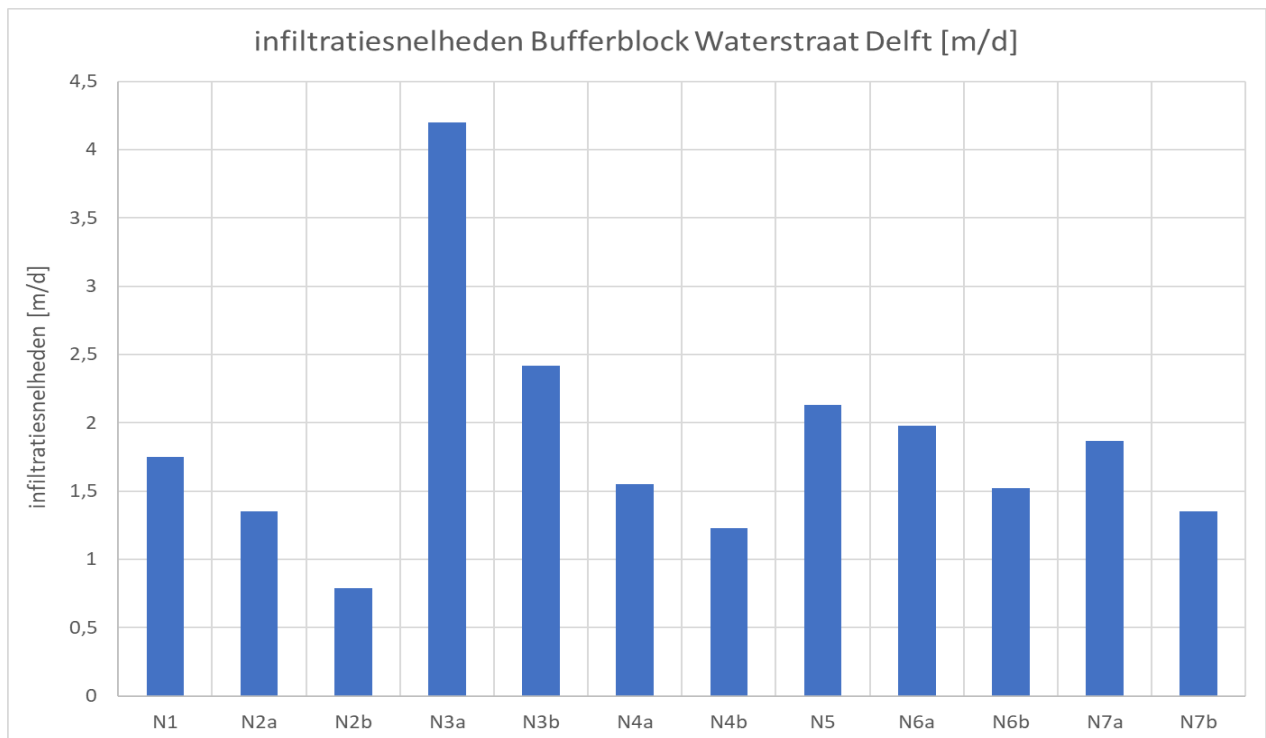
Uit deze leegloopcurven in figuur 2-4 is voor het holle ruimte gedeelte van de voorziening het lineaire leegloopverloop bepaald en zijn op basis daarvan leeglooptijden en infiltratiesnelheden berekend van het water dat in de voorziening kan worden geborgen en infiltreert naar omringende bodem (freatisch) grondwater, zie tabel 2-3.

⁷ <https://climatescan.nl/projects/2398/detail>

Min [m/d] = 0,79 Max [m/d] = 4,2 gem (1ste vulling) = 2,01 m/d			
	datum	infiltratiesnelheden [m/d]	reductiefactor [%]
N1	26-4-2018	1,75	
N2a	26-3-2019	1,35	
N2b	26-3-2019	0,79	41%
N3a	30-7-2019	4,2	
N3b	30-7-2019	2,42	42%
N4a	13-8-2019	1,55	
N4b	13-8-2019	1,23	21%
N5	27-5-2020	2,13	
N6a	10-6-2020	1,98	
N6b	10-6-2020	1,52	23%
N7a	30-6-2020	1,87	
N7b	30-6-2020	1,35	28%

Tabel 2-3: Leeglooptijden Bufferblock bij 7 metingen waarvan bij 4 metingen de vulling herhaald is aangeduid met 'b'.

Voor Bufferblock varieert de infiltratiesnelheid globaal tussen 0.79 en 4.2 m/d afhankelijk van de omstandigheden (o.a. grondwaterstand). Bij Bufferblock reduceert de infiltratiesnelheid bij de tweede vulling met ca 30% in dezelfde orde als bij doorlatende verharding (werkpakket 2).



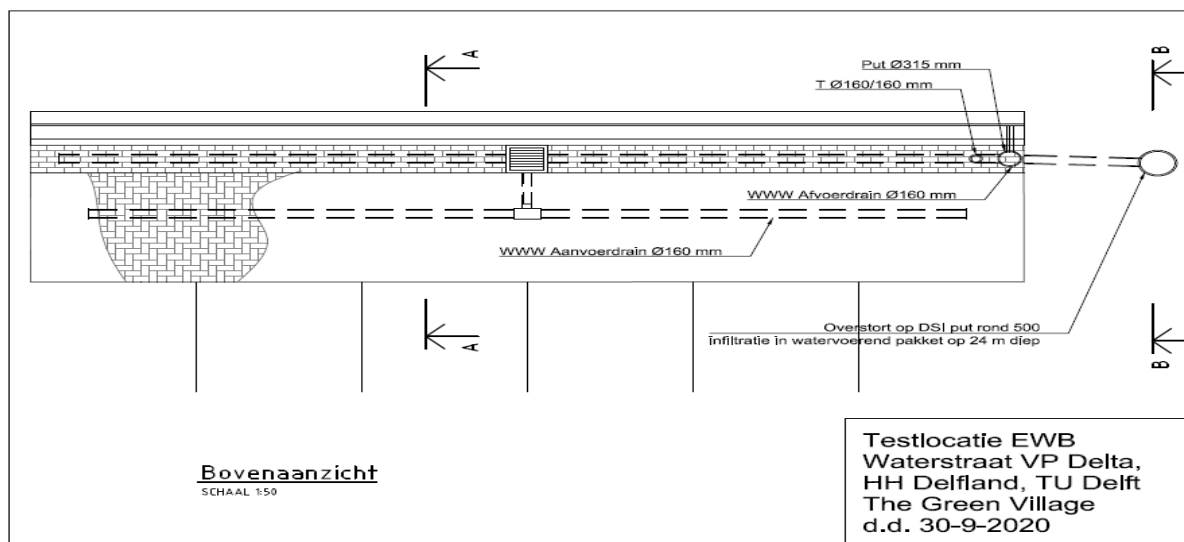
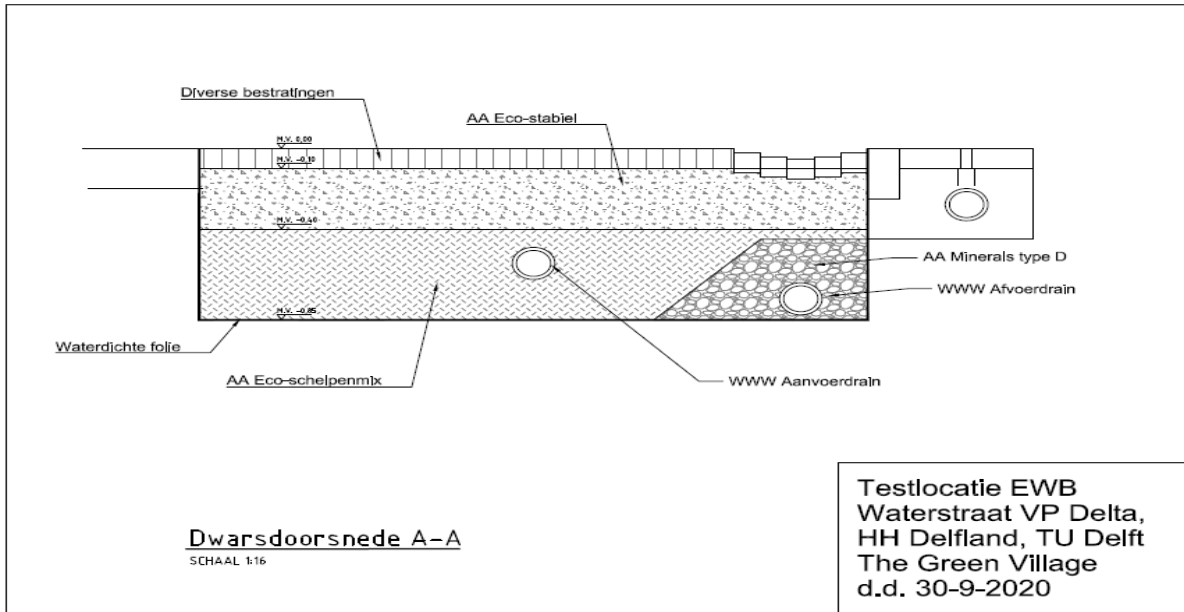
Figuur 2-5: Infiltratiesnelheden Bufferblock (initiële full scale test).

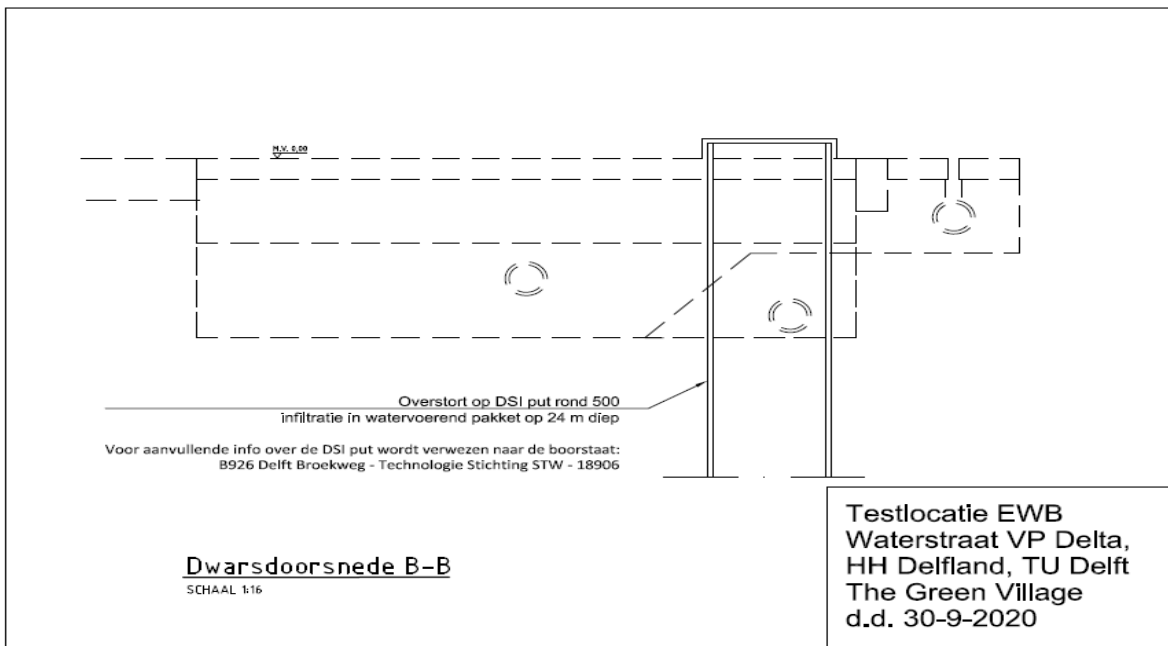
Naast de normale infiltratietesten is Bufferblock onderworpen aan 2 vervuilingstesten. In de vervuilingstest is door middel van toevoeging van zand het effect van vervuiling gesimuleerd. De hoeveelheid vervuiling die is toegevoegd is berekend op basis van een vervuilingsperiode van 10 jaar met een gehalte van 38 mg/l aan zwevend stof in aanvoerwater⁸. Voor Bufferblock komt dit neer op 75 kg zand wat is toegevoegd aan de voorziening in testen 6a en 7a in tabel 2-3. Uit praktisch oogpunt is gekozen voor toevoeging van 6 kleine zandzakken (per vervuilingstest).

⁸ Boogaard F., Liefing E., Langeveld J., Palsma B., Dutch stormwater quality (in Dutch: De kwaliteit van afstromend hemelwater in Nederland), H20 20 april 2020. Zakken van 12,5 kg, zie berekening in bijlage

2.4.2. Resultaten EWB

De proefopstelling en meetapparatuur is hieronder in figuur 2-6 weergegeven. Voor details van de Urban Rainshell (URS) wordt verwezen naar rapportages van Werkpakketten 1 en 2 van het project 'De Infiltrerende Stad'.





Figuur 2-6: Proefopstelling van Urban Rainshell op de WaterStraat.

Met de apparatuur (tabel 2-2) en opstelling zijn doorlatendheden onderzocht van de Urban Rainshell voor en na dichtslibbingsproef.

Ook hier is naast de normale infiltratietesten de Urban Rainshell onderworpen aan één vervuilingstest. In deze vervuilingstest is door middel van toevoeging van zand het effect van vervuiling gesimuleerd. De hoeveelheid vervuiling die is toegevoegd is berekend op basis van een vervuilingperiode van 10 jaar met een gehalte van 38 mg/l aan zwevend stof in aanvoerwater⁹. Voor de Urban Rainshell van EWB komt dit neer op circa 25 kg zand wat is toegevoegd aan de voorziening (tabel 2-5).

sediment	38 mg/l
aantal jaar	10 jaar
aantal mm in voorziening	570 mm/jr
aangesloten opp	120 m ²
dichtheid materiaal	1600 kg/m ³
vulling van voorziening	6 m ³
out	68400 liter/jr water
	25,99 kg

Tabel 2-4: Simulatie vervuiling berekening.

Uit leegloopcurven is over de hoogte van het schelpenmengsel van de voorziening het lineaire leegloopverloop bepaald en zijn de leeglooptijden berekend, zie tabel 2-5.

Bij EWB varieert de afvoersnelheid in het gesloten systeem globaal tussen 40 en 60 m/d (zie tabel 2-4). Dit betreft de afvoersnelheid puur via de afvoerdrain, direct naar de DSI (dus zonder directe infiltratie naar het omliggende bodempakket). Feitelijk is het dus de maximale infiltratiesnelheid van DSI op deze specifieke locatie met de URS als voorzuivering. Alle metingen in deze tabel zijn van na de installatie van DSI in mei 2020 waarmee de voorziening compleet was.

⁹ Boogaard F., Liefding E., Langeveld J., Palsma B., Dutch stormwater quality (in Dutch: De kwaliteit van afstromend hemelwater in Nederland), H20 20 april 2020. Zakken van 12,5 kg, zie berekening in bijlage

Meting nr	datum	infiltratiesnelheid [m/d]	reductiefactor	m ³ vulling
1a	27-5-2020	57,4		6,01
1b	27-5-2020	56,4	98%	5,59
2a	3-6-2020	51,1		5,79
2b	3-6-2020	49,1	96%	5,38
3a	30-6-2020	54,6		6,11
3b	30-6-2020	52,4	96%	5,39
4a vervuilingstest	1-7-2020	46,0		5,77
4b	1-7-2020	39,9		5,12
5	2-7-2020	39,3	98%	5,63

Tabel 2-5: Metingen en gemeten infiltratiesnelheden Urban Rainshell.

We zien bij de laatste metingen dat er invloed kan zijn van de dichtslibbingproef: “Waarschijnlijk gaat het hier om dichtslibbing van de kolk en aanvoerdrain. Geadviseerd wordt dan ook om kolk en aanvoerdrain en kolken periodiek te inspecteren en indien nodig door te spuiten. Om de werking van de URS om organische vervuiling af te breken en dichtslibbing van het systeem te voorkomen te onderbouwen is aanvullend onderzoek nodig.

Enkele individuele resultaten zijn al gepubliceerd (Bron: <https://www.ewb.solutions/nieuws>)

HOGESCHOOL ROTTERDAM ONDERZOEKT URBAN RAINSHELL



Als onderdeel van onderzoeksproject ‘De Infiltrerende Stad’ werd op Wereld Waterdag, donderdag 21 maart 2019, een aantal aspecten van de Urban Rainshell onder de loep genomen door onderzoekers van de Hogeschool Rotterdam, de Hogeschool van Amsterdam en de Hanzehogeschool Groningen. De full scale proef met de Urban Rainshell die in december 2017 is gerealiseerd in de WaterStraat op de TU Delft, liet zien dat met een systeem van 24m² binnen één uur tijd ruim 6 m³ regenwater kan worden gebufferd en gezuiverd (na 1,5 jaar zonder enig onderhoud te hebben gepleegd). Daarmee overtreft de test onze eigen verwachtingen, aangezien de Urban Rainshell op de WaterStraat gedimensioneerd is om een 50 mm bui van 125 m² verhard oppervlakte te kunnen bufferen én zuiveren (ca 6 m³). De proef op 21 maart laat echter zien dat het systeem nog meer water kan verwerken. Het wachten is nu op de definitieve uitwerking van de resultaten. In vervolgonderzoeken als onderdeel van ‘De Infiltrerende Stad’ zal ondermeer ook nog gekeken worden naar het

2.4.3. Voldoen de metingen aan richtlijnen?

En zijn geen nationale richtlijnen voor ondergrondse infiltratie of doorlatende verharding anders dan enkele vuistregels¹⁰ die in het verleden zijn opgesteld vanuit wensen van opdrachtgevers bij publieke partijen (gemeenten en waterschappen) in samenwerking met private partijen.

Parameter	eenheid	Nederland	Duitsland [DWA 2005, LUB-W, 1998]	Engeland/USA [CIRA, 2004]	Belgie [Viario, 2005]
onverzadigd doorlatendheid toplaag (bij aanleg)	[m/h]	0.02 (ca 0.5 m/d)	0,0036 < Kd < 3,6		>0.0036
afstand wadibodem tot GHG	[m]	>0.5	>1		
Filterlaagdikte	[m]	0.3-0.5	>0.1 (gem 0.3)		0.3-0.5
afstand tot gevel (bij kruipruimten)	[m]	>1	>1.5 maal diepte bouwput of (zie tekst)		
Overstortingsfrequentie	[T; n/jr]	T=2-T=5	T=5		T=2-T=5
Ledigingstijd	[h]	<24	<24	Verblijftijd >10 min	<24 (tot 48)
Minimale bodembreedte wadi	[m]	0.5		0.6	0,5 à 1 m
AANDACHTSPUNTEN					
Geotextiel	[O ₉₀]	>300 um			
Doorlatendheid geotextiel		>10l/s/m ²			
Overloopvoorziening (aantal)	[n]	n>1			

Tabel 2-4: richtlijnen voor ondergrondse infiltratie.

We zien dat de ledigingstijd (afvoercapaciteit naar grondwater) bij EWB en Bufferblock kleiner is dan 24 uur in huidige situatie (zonder dichtslibbing) en dus voldoet.

De afstand van infiltratievoorziening tot gevel van 1 meter is opgesteld om mogelijke (grond)wateroverlast bij aangrenzende panden te voorkomen. Dat dit legitiem is kun je halen uit de testen op de WaterStraat, gezien bij het volledig vullen van Bufferblock de grondwaterstand op 2 meter afstand (tijdelijk en zeer lokaal) in de orde van 0,5 m omhoog ging. Dit was een grote bui (2 keer berging gevuld) en zal in de praktijk nauwelijks voorkomen maar kleinere buien kunnen (tijdelijk en zeer lokaal) een verhoging van de grondwaterstand betekenen waardoor het direct tegen de gevel plaatsen van infiltratievoorzieningen niet wenselijk is.

De metingen op de WaterStraat kunnen een aanscherping zijn voor de toekomstige richtlijnen die worden opgesteld bij het Overleg Standaarden Klimaatadaptatie (OSKA¹¹) traject.

¹⁰ Boogaard F.C., Wentink R (Inter)nationale ervaringen met infiltratievoorzieningen, een overzicht van 20 jaar monitoring in Nederland en een aanzet tot richtlijnen, WT afvalwater, februari 2012.

¹¹ <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/overheden/deltaplan-ra/reguleren-borgen/borgen/standaarden/oska/>

3. Conclusies en aanbevelingen

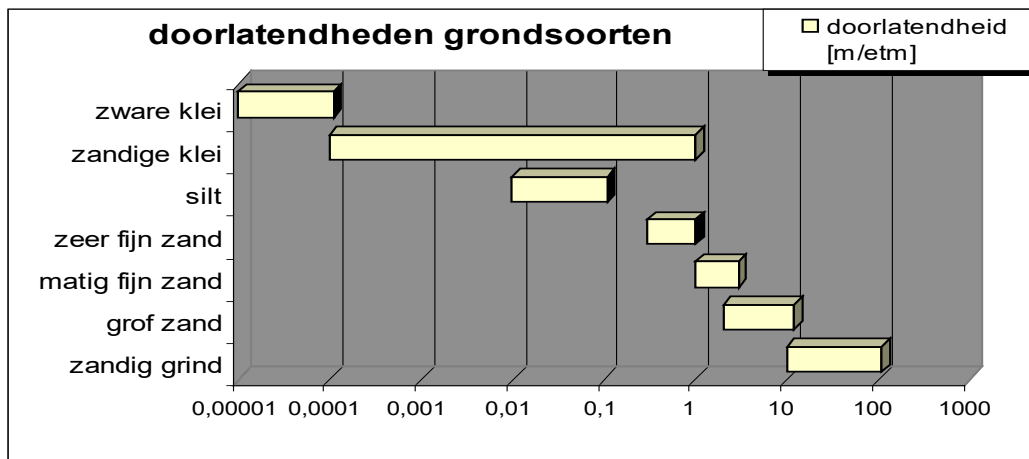
Het hydraulisch functioneren van de infiltratievoorzieningen is herhaaldelijk onderzocht en getoetst aan de volgende vuistregels:

Parameter	eenheid	(aanzet tot) richtlijn
Ledigingstijd	uur	24
Afstand tot gevel	meter	1

De berging van de voorzieningen van EWB (afvoer uit gesloten systeem) en Bufferblock (ondergrondse infiltratie) zijn bij alle proeven binnen 24 uur leeg. Bij het vullen bij verzadigde bodem (proef herhalen) neemt de ledigingstijd bij open systemen zoals Bufferblock toe maar blijft onder 24 uur. Bij Bufferblock reduceert de infiltratiesnelheid bij de tweede vulling met ca 30% in dezelfde orde als bij doorlatende verharding¹².

De Urban Rainshell (i.v.m. onderzoeksdoeleinden op de WaterStraat ingericht als een gesloten systeem) met een leegloopsnelheid in de orde van 50 m/d laat dit effect nauwelijks zien, leeglooptijd lijkt constant in de tijd. Dat komt omdat de leeglooptijd van het EWB-systeem op de WaterStraat puur is gerelateerd aan de afvoersnelheid via de afvoerdrain naar het watervoerend pakket (-24m -mv) m.b.v. DSI. Opgemerkt moet worden dat, indien het systeem niet waterdicht zou zijn uitgevoerd, de afvoersnelheid nog hoger zou zijn geweest dan de nu gemeten 50 m/d.

Leeglooptijden bij open systemen als Bufferblock (op WaterStraat als open infiltratiesysteem toegepast maar wordt op andere locaties ook als gesloten systeem toegepast waarbij berging wordt benut voor hergebruik van water) in deze orde zijn volgens verwachting bij implementaties in zanderige bodem (zie figuur doorlatendheden grondsoorten) en vullingsmateriaal (doorlatendheid van de schelpen en het mineralenmengsel). De infiltratiesnelheden bij Bufferblock blijken met name afhankelijk te zijn van de k-waarde van het type en opbouw bodem onder de blokken.



Grondsoort	Doorlatendheid [m d ⁻¹]	Grondsoort	Doorlatendheid [m d ⁻¹]
Zware klei	1 · 10 ⁻⁴	Schelpen	30
Matig zware klei	1 · 10 ⁻²	Fijn zand	1 - 10
Zandige klei	5 · 10 ⁻²	Duinzand	7
Veen	1 · 10 ⁻³ - 0.1	Grof zand	10 - 50
Leem/löss	5 · 10 ⁻²	Fijn grind	1 · 10 ³ - 1 · 10 ⁴
Lichte zavel	0.5	Grof grind	1 · 10 ⁴ - 1 · 10 ⁵

Figuur 3-1: Indicatie en globale schatting van verticale doorlatendheid van enkele bodemsoorten¹³

¹² Floris Boogaard, Terry Lucke.: Long-term Infiltration Performance Evaluation of Dutch Permeable Pavements using the Full-Scale Infiltration Method, Water February 2019, 11(2), 320; doi: 10.3390/w11020320.

¹³ Bot, 2011/Hengeveld collegedictaat TUDelft

(indicatie gezien bodemsamenstelling en schelpen¹⁴ nooit een zuiver homogeen mengsel zijn in de praktijk vandaar dat metingen aan te bevelen zijn).

3.1. Discussie

De leeglooptijd kan in de toekomst toenemen door dichtslibbing. Bij de eerste proeven waarbij fijn zand/slib is toegevoegd om dichtslibben van voorziening te simuleren laten beide voorzieningen nog geen significante hogere leeglooptijd zien. Op dit moment lijkt er geen negatief effect van toevoeging van vervuiling door fijn zand/slib te zijn. Hierbij wordt opgemerkt dat het lange termijn functioneren (dichtslibben) nooit in enkele maanden goed kan worden gesimuleerd en het hier dus een eerste indicatie betreft. In de praktijk zijn de mogelijkheden van voorkomen van inspoelen sediment en beheer mogelijkheden aan de voorziening van belang (bv vastleggen sediment met kolken en doorspuitmogelijkheden drain) voor als dichtslibbing zou optreden.

3.2. Algemene aanbevelingen

Aanbevolen wordt het leegloopgedrag op lange termijn in praktijk in en met gemeenten te blijven volgen. Voor zover mogelijk zijn de metingen getoetst aan richtlijnen voor ondergrondse infiltratie. Als de functie zuivering van regenwater is kan het wenselijk zijn een hogere verblijftijd te hebben en daarmee een langere ledigingstijd. Dit kan door regelfuncties worden ingesteld waarbij afvoer kan worden vergroot of verkleind (aanbeveling). Voor EWB is de huidige ledigingstijd al afgestemd op de zuiverende functie van het systeem (op basis van eerder onderzoek van Tauw)¹⁵.

Bij het herhaaldelijk vullen van de open voorziening zijn op 2 meter afstand ca 0.5 m verhoging gemeten. De richtlijn ten aanzien van de **afstand van infiltratievoorziening tot gevel** van 1 meter is opgesteld om mogelijke (grond)wateroverlast bij aangrenzende infrastructuur te voorkomen en verdient **aanbeveling** om in praktijk te handhaven. Grondwaterstandsverhogingen zijn echter zeer afhankelijk van locatie specifieke omstandigheden en hydraulische belasting, maar buien (tijdelijk en zeer lokaal) kunnen een verhoging van de grondwaterstand veroorzaken waardoor het direct tegen de gevel plaatsen van infiltratievoorzieningen niet wenselijk is.

Aangezien de meetresultaten afhankelijk zijn van de locatie en dimensionering van de voorziening verdient het aanbeveling om meer metingen te verrichten, bij voorkeur in en met gemeenten. Aandacht verdient het bepalen van een goede nulsituatie en metingen herhalen zodat het lange termijn functioneren bij praktijksituaties kan worden bepaald. Uitbreidingen van het meetprogramma met metingen aan water- en bodemkwaliteit kan hierbij een onderdeel zijn.

De metingen op de WaterStraat kunnen een aanscherping zijn voor de toekomstige richtlijnen die worden opgesteld bij het Overleg Standaarden Klimaatadaptatie (OSKA¹⁶) traject alsmede nieuwe project(voorstellen) zoals ingediende voorstellen als RAAK waterbergende weg en TKI om metingen in de toekomst (in meer detail en lange termijn) te kunnen continueren. De MKBs beschikken nu over een dataset waarmee hun voorziening gemodelleerd kan worden en het functioneren onder verschillende omstandigheden en scenario's kan worden onderzocht. Deze dataset kan bij de MKBS worden opgevraagd zodat de details van het systeem kan worden toegelicht. Het functioneren van informatievoorzieningen is sterk afhankelijk het ontwerp, aanleg en beheer van de voorziening en de locatie specifieke omstandigheden.

Enkele detail aanbevelingen voor toekomstige implementaties:

- Zuiveringsfuncties: vang slib en fijne bodemdeeltjes af voor het de ondergrondse voorziening binnendringt
- Regelfuncties: hiermee kun je leeglooptijd aanpassen op gewenst functioneren zodanig dat zuiveringsprocessen een betere rol krijgen
- Plaats vooraf peilbuizen in de voorziening met afgestemde diameter op gewenste apparatuur (bij dit project diende achteraf peilbuizen geplaatst te worden voor bijvoorbeeld vochtgehalte metingen in granulaat)
- Houdt rekening met toegankelijkheid t.a.v. beheer mogelijkheden

¹⁴ Kevin Degrande Toepasbaarheid van schelpen bij waterdoorlatende funderingen voor waterdoorlatende oppervlakken (PhD thesis) 2018

¹⁵ Onderzoek Tauw (2019), opvraagbaar bij leverancier.

¹⁶ <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/overheden/deltaplan-ra/reguleren-borgen/borgen/standaarden/oska/>

- Stel meetplan en beheerplan op met stakeholders
- Zorg goed voor een overloop indien de bergingscapaciteit van voorziening onvoldoende is bij hevige neerslag

4. Referenties (meer info)

- Boogaard F.C., Blanksby J., Ven F., Chris Jefferies, Transnational knowledge exchange on SUDS case study: permeable pavement, aquatech Hamburg Germany 2011.
- Lucke T, Beecham S, Boogaard F.C. Baden M., Are Infiltration Capacities of Clogged Permeable Pavements Still Acceptable? Les capacités d'infiltration de revêtement poreux "colmatés" restent-elles acceptables?, NOVATECH 2013.
- Mohamed A.K.M., Lucke T, Boogaard F.C. Using swales to pre-treat stormwater runoff and prolong the effective life of permeable pavement systems Utilisation des noues pour pré-traiter les eaux de ruissellement et prolonger la durée de vie effective des systèmes de revêtements poreux, NOVATECH 2013.
- Boogaard F.C., Lucke T, Giesen N, Ven F, Evaluating the Infiltration Performance of 10 Dutch Permeable Pavements Using a New Full-scale Infiltration Testing Method, Journal Water 2014.
- Lucke T. Boogaard F., van de Ven F., Evaluation of a new experimental test procedure to more accurately determine the surface infiltration rate of permeable pavement systems, DOI:10.1080/21650020.2014.893200, pages 22-35, Urban, Planning and Transport Research, 10 Mar 2014
- Boogaard F. Lucke T., Dierkes C., Wenkink R., Akkerman O. International long-term efficiency of stormwater infiltration by permeable pavement, International waterweek 2015, 3 November 2015, Amsterdam.
- F. Boogaard , F. Harten , T. Lucke . Long term infiltration capacity of permeable pavement determined with new full scale test method, 14th IWA/IAHR international conference on urban drainage (ICUD), 10-15 September 2017, Prague.
- Boogaard F., Feringa K., Hof A., Kluck J., Floodfighting in Almere: Onderzoeksresultaten hydraulisch functioneren wadis en doorlatende verharding in Almere, h2o, 2016
- Boogaard F., Grent A., Macke F., Rijdsdijk M., Zuurman A., Bendall B., Kennisuitwisseling Klimaatbestendige steden: Climatescan, vakblad riolering, maart 2017
- Boogaard F., Klomp T., Palsma B., Maneschijn M., Climatescan: internationale kennisuitwisseling klimaatbestendige steden, land en water maart 2017
- Boogaard F.C., Rozendaal B., Steenbruggen G.P.R, Overschatten we het hydraulisch functioneren van wadi's en doorlatende verharding?, H2o online, 21 juni 2017.
- F. Boogaard , J. Tipping , T. Muthanna , A. Duffy , B. Bendall , J. Kluck ., Web-based international knowledge exchange tool on urban resilience and climate proofing cities: climatescan, 14th IWA/IAHR international conference on urban drainage (ICUD), 10-15 September 2017, Prague.
- F. Boogaard , F. Harten , T. Lucke . Long term infiltration capacity of permeable pavement determined with new full scale test method, 14th IWA/IAHR international conference on urban drainage (ICUD), 10-15 September 2017, Prague.
- Kluck, J, Boogaard, F, Kleerekoper, L, Tipping, J, Retrofitting of urban areas: climate proof for the same cost, 14th IWA/IAHR international conference on urban drainage (ICUD), 10-15 September 2017, Prague.
- Boogaard F., Heikoop R., van de Sandt K, den Oudendammer T, Oostra A., Internationale city climatescan Rotterdam, onderzoeksresultaten klimaatadaptatie: infiltratie in het stedelijk gebied, H2O, 2018.
- Floris Boogaard New 'full scale' monitoring method for (subsurface) stormwater infiltration to protect groundwater, long term (hydraulic) efficiency of SuDS in The Netherlands, IAH Groundwater management and governance, Malaga 22-27th September 2019.
- Floris Boogaard, Anne Liinamaa-Dehls, Britta Restemeyer, Guri Venvik, Knowledge exchange on Climate Adaptation with Nature-based solutions and Best Management Practices for Sustainable (ground)water management in Resilient Cities, IAH Groundwater management and governance, Malaga 22-27th September 2019.
- Majidi, A.N.; Vojinovic, Z.; Alves, A.; Weesakul, S.; Sanchez, A.; Boogaard, F.; Kluck, J. Planning Nature-Based Solutions for Urban Flood Reduction and Thermal Comfort Enhancement. Sustainability 2019, 11(22), 6361; <https://doi.org/10.3390/su11226361>.
- Floris Boogaard, Terry Lucke,: Long-term Infiltration Performance Evaluation of Dutch Permeable Pavements using the Full-Scale Infiltration Method, Water February 2019, 11(2), 320; doi: 10.3390/w11020320

Selected Research documents/books

- STOWA (authors: drs. T. van Mossevelde, drs. P.N.M. Schipper, ir. F.C. Boogaard) Kwaliteitsaspecten infiltreren stedelijk water beter bekeken, Rapportnr 2005-23, ISBN, 90.5773.312.9, Stowa Utrecht 2005.
- RIONED (authors: Boogaard, F.C., Bruins, G. and Wentink, R). Swales: recommendations for design, implementation and maintenance (in Dutch: Wadi's: aanbevelingen voor ontwerp, aanleg en beheer), Stichting RIONED, 2006.
- STOWA (authors: Bogaard F.C., Rombout J.) SUDS recommendations for design, implementation and maintenance (in Dutch: zuiverende voorzieningen regenwater 'verkenning van de kennis van ontwerp, aanleg en beheer van zuiverende regenwaterstystemen'), ISBN 978.90.5773.369.7 Amersfoort, 2007.
- RIONED (authors: Boogaard, F.C., Wentink R., Clogging of infiltration facilities (in Dutch: Dichtslibbing van infiltratievoorzieningen, een verkenning van de hydraulische levensduur van infiltratievoorzieningen), Stichting RIONED, maart 2007.
- STOWA (authors: Boogaard F.C, Lemmen G, Facts about the quality of stormwater (in Dutch: De feiten over de kwaliteit van afstromend regenwater STOWA, 2007).
- STOWA (authors: Boogaard F.C., Lemmen G., database stormwater (in Dutch database regenwater, background report), STOWA 2007.
- RIONED (authors: Boogaard, F.C., Rombout J., Wentink R., Infiltration of stormwater and risk of pollution (in Dutch: Ondergrondse infiltratie van regenwater, een literatuur- en praktijkonderzoek naar milieurisico's), Stichting RIONED, september 2008.
- ISSO Dealing with stormwater on private properties (in Dutch: Omgaan met hemelwater binnen de perceelsgrens), ISBN 978-90-5044-209-1, ISSO publication 70.1, Rotterdam March 2011.
- Boogaard, F.C. , Brauw H., KRW innovatie in de praktijk: onkruidbestrijding en zuivering regenwater, Amsterdam 30 oktober 2012
- RIONED, A review of solutions for rainwater problems in built-up areas Examples and developments anno, 2014. (chapter 4: Boogaard F.C., Stockell G., Egmond aan Zee, Expertbenadering lost ernstige wateroverlast in Egmond aan Zee op).
- HVA en HG 'Voor hetzelfde geld klimaatbestendig, voorbeelden klimaatbestendige inrichting voor veelvoorkomende karakteristiek straten' deel 2, hogeschool van Amsterdam, januari 2017.
- dr. ir. Floris Boogaard, drs. Arjen van Dijk, drs. Kees Dol, dr. P. Jasperse, Birgitta Knol Msc., drs. F.A. Knol, ir. Jaap van Os, dr. Martin Stijnenbosch, M.J.E. Willems, Module Kengetallen, Wolters Kluwer, updated November 2017.
- Kennisbank RIONED 2020, herziening leidraden: (Co-) author Boogaard F.C.: C3200 (beheer van infiltratievoorzieningen), B2200 (Functioneel ontwerp: inzameling en transport van hemelwater) en B2100 (Functioneel ontwerp: inzameling en transport van afvalwater en (verontreinigd) hemelwater)
- STOWA/Stichting RIONED (authors Liefing E, Boogaard F. Langeveld J.) Kwaliteit afstromend hemelwater in Nederland. Database kwaliteit afstromend hemelwater, rapport nr 2020-05, Amersfoort 07-04-2020
- COST Action TU1206 Sub-Urban Campbell D et al (contributions Boogaard F, pg 28), PATHWAYS & PITFALLS TO BETTER SUB-URBAN PLANNING, April 2018 (https://issuu.com/ngu/docs/suburban_magazin_pages)
- Kluck J., Loeve R., Bakker W., Kleerekoper L., Rouvoet M., Wentink R., Viscaal J., Klok L., Boogaard F., The climate is right up your street, The value of retrofitting in residential streets, A book of examples, ISBN 978-94-92644-06-0, Amsterdam April 2018.
- Nature-Based Solutions for Restoration of Ecosystems and Sustainable Urban Development, Thomas Panagopoulos Sciprofile link (Ed.), Pages: 218, Published: June 2020 (This book is a printed edition of the Special Issue Nature-Based Solutions for Restoration of Ecosystems and Sustainable Urban Development that was published in Sustainability), <https://doi.org/10.3390/books978-3-03936-243-1>, 2020
- De Graaf-van Dinther (ed.) (2020) Climate resilient urban areas. Governance, design and development in coastal delta cities. Palgrave Pivot. Palgrave MacMillan, Publication in press Chapter by Kluck & Boogaard: Climate resilient urban retrofit at street level