

Datum
1 februari 2024

Versie
5

Kennisdocument hemelwater- verwerkende voorzieningen

Overzicht van kengetallen en ervaringen op basis van
Waternet-onderzoeken in praktijksituaties

Maikel Votel
Najim el Ayadi
Mark Nijman
Femke de Groot



Colofon

Opdrachtgever	
Sector	Avalwater/Drinkwater
Afdeling	Assetmanagement Waterketen
Projectleider	Torben Tijms
Projectnummer	01.1944/002

Opdrachtnemer	
Sector	TOP
Afdeling	Onderzoek en Advies
Projectleider	Femke de Groot
Kwaliteitsborger	Maikel Votel
Projectnummer	01.1944/002

Rapport	
Rapporteur	Maikel Votel, Najim el Ayadi, Femke de Groot
Versie	5
Rapportnummer	19.036373
Trefwoorden	Drainage, Grondwater, Innovatie, Klimaatadaptatie, Riolering, Hemelwater, Rainproof, Wadi, Doorlatende verharding, Infiltratie, Grondwater, Kengetallen

Inhoud

1	Inleiding	6
2	Materialen en methoden	7
3	Overzichtstabel kengetallen en ervaringen	12
4	Natuurvriendelijke wadi met drainage Harkstraat	16
5	Stedelijke wadi Zuidelijke Wandelweg	18
6	Natuurvriendelijke wadi met drainage Merwedeplein	20
7	Waterpasserende bestrating met viltjes Bergen	21
8	Strook doorlatende verharding Argonautenstraat	23
9	Doorlatende klinkerbestrating Kromme Mijdrechtstraat	25
10	Traditionele klinkerbestrating Waverstraat	27
11	DIT-riool Argonautenstraat	29
12	Drainagesysteem Diemen	31
13	Grindtuin voorplein De Mirandabad	33
14	Ondergrondse buffer en infiltratie met steenwol Kruislaan	35
15	Ondergrondse buffer en infiltratie met steenwol Tuindorp Oostzaan	37
16	Verdampings- en infiltratiekratten Kattenburgerstraat	39
17	Ondergrondse buffer en infiltratie met prefab betonnen elementen	41
18	Verwijzingen	43

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Met betrekking tot klimaatadaptatie en in het kader van het netwerk Amsterdam Rainproof worden in Amsterdam steeds meer systemen gerealiseerd om hemelwater op andere manieren te verwerken dan via de traditionele hemelwaterriolering. De werking van deze systemen is vaak gebaseerd op het introduceren van meer buffer- en infiltratiemogelijkheden in de openbare ruimte. Waternet onderzoekt hoe deze voorzieningen in de praktijk functioneren. De resultaten kunnen worden gebruikt bij het maken van keuzes bij het klimaatbestendig inrichten van de openbare ruimte. Ook worden de systemen langere tijd gemonitord, zodat kennis wordt ontwikkeld voor het beheer en onderhoud ervan.

Door de onderzoeken is steeds meer kennis beschikbaar gekomen over het functioneren van deze hemelwater verwerkende systemen. Hierdoor is behoefte ontstaan aan een overzicht waarin de onderzoeksresultaten, kengetallen en ervaringen gezamenlijk worden weergegeven, zodat de systemen met elkaar kunnen worden vergeleken en hun toepasbaarheid binnen Amsterdam kan worden afgewogen.

1.2 Doel

Het verzamelen van onderzoeksresultaten, kengetallen en ervaringen op basis van de uitgevoerde onderzoeken naar het functioneren van hemelwater verwerkende systemen, zodat deze informatie kan worden gebruikt bij het onderling vergelijken en afwegen voor toepassing binnen Amsterdam.

1.3 Afbakening

Er worden enkel resultaten gebruikt van onderzoeken die door Waternet zijn uitgevoerd onder representatieve praktijksituaties.

1.4 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 2 beschrijft hoe de onderzoeken zijn uitgevoerd en op welke manier de onderzoeksresultaten zijn verwerkt tot kengetallen.
- Hoofdstuk 3 presenteert de kengetallen en ervaringen in een overzichtstabel.
- De hoofdstukken 4 t/m 17 bevatten een samenvatting van de onderzochte systemen, resultaten en kengetallen.

Dit rapport is een 'groeidocument' en wordt bijgewerkt als nieuwe onderzoeksresultaten beschikbaar komen.

2 Materialen en methoden

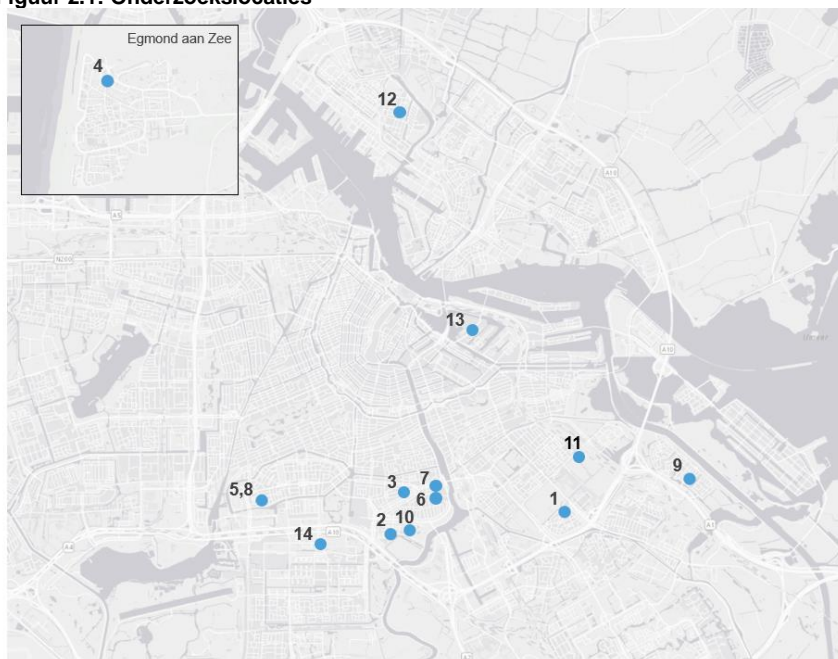
2.1 Onderzochte infiltratievoorzieningen en onderzoekslocaties

Tabel 2.1 bevat een overzicht van de onderzochte infiltratievoorzieningen. Figuur 2.1 toont de onderzoek locaties op een kaart.

Tabel 2.1: Onderzochte infiltratievoorzieningen

Nr. op kaart	Soort systeem	Type systeem	Locatie
1	wadi	natuurvriendelijke wadi met drainage	Harkstraat, Amsterdam
2	wadi	stedelijke wadi (watervertragende groenstrook)	Zuidelijke Wandelweg, Amsterdam
3	wadi	Natuurvriendelijke wadi met drainage	Merwedeplein, Amsterdam
4	doorlatende verharding	waterpasserende bestrating met viltjes als voegmateriaal	Julianastraat, Egmond aan Zee
5	doorlatende verharding	strook doorlatende verharding met grindkoffer	Argonautenstraat, Amsterdam
6	doorlatende verharding	doorlatende klinkerbestrating	Kromme Mijdrechtstraat, Amsterdam
7	traditionele verharding	conventionele klinkerbestrating 'referentiestraat'	Waverstraat Amsterdam
8	lineaire ondergrondse infiltratie	DIT-riool	Argonautenstraat, Amsterdam
9	lineaire ondergrondse infiltratie	drainagesysteem	Schoener, Diemen
10	infiltratieveld	grindtuin	De Mirandalaan, Amsterdam
11	ondergrondse buffer en infiltratie	steenwol	Kruislaan, Amsterdam
12	ondergrondse buffer en infiltratie	steenwol	Abrikozenstraat, Amsterdam
13	ondergrondse buffer en infiltratie	verdampings- en infiltratiekratten	Kattenburgerstraat, Amsterdam
14	ondergrondse buffer en infiltratie	prefab betonnen elementen	Beethovenstraat, Amsterdam

Figuur 2.1: Onderzoekslocaties



2.2 Onderzoeksmethoden

Figuur 2.2: Toepassing van *full-scale* methode

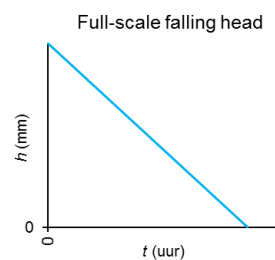


Het functioneren van een infiltratievoorziening wordt in grote mate bepaald door de snelheid waarmee het water door het systeem naar de bodem kan infiltreren. Voor de bepaling van de infiltratiesnelheid bestaan verschillende meetmethoden. Waternet past een methode toe waarbij de gehele infiltratievoorziening, of een zo groot mogelijk deel van de voorziening, wordt beproefd (figuur 2.2). Hierdoor wordt een representatieve waarde verkregen voor de infiltratiesnelheid van het totale systeem. In de literatuur staat deze onderzoeksmethode bekend als '*full-scale infiltration testing*' (Boogaard & Lucke, 2019). Waternet past, afhankelijk van de specifieke situatie en onderzoeksvraag, verschillende varianten van deze methode toe.

2.2.1 Full-scale falling head (FSFH)

Bij de methode *full-scale falling head* (FSFH) wordt een grote hoeveelheid water aan de voorziening toegevoegd, zodat zich een waterlaag vormt op het oppervlak van de voorziening. De aanvoer van water wordt gestopt zodra het gewenste water-niveau is bereikt. De daling van het waterniveau (h) in de tijd (t) als gevolg van de infiltratie wordt gemeten en geregistreerd met automatische drukopnemers. Deze resultaten worden gevalideerd met handmetingen. De infiltratiesnelheid (f_i) wordt vervolgens berekend met:

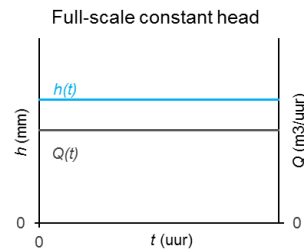
$$f_i \left[\frac{\text{mm}}{\text{uur}} \right] = \frac{h \text{ [mm]}}{t \text{ [uur]}}$$



2.2.2 Full-scale constant head (FSCH)

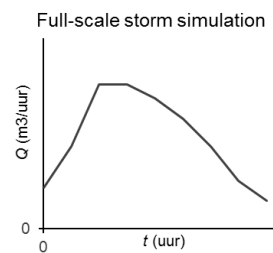
Ook bij de methode *full-scale constant head* (FSCH) wordt een grote hoeveelheid water aan de voorziening toegevoegd, zodat zich een waterlaag vormt op het systeem. Met debietmeters wordt het debiet (Q) gemeten dat nodig is om het waterniveau constant te houden. Het waterniveau (h) wordt tijdens de proef gemeten met drukopnemers en gevalideerd met handmetingen. De infiltratiesnelheid (f_i) wordt vervolgens berekend met:

$$f_i \left[\frac{\text{mm}}{\text{uur}} \right] = \frac{Q \left[\frac{\text{m}^3}{\text{uur}} \right]}{A_{\text{systeem}} \left[\text{m}^2 \right]} \cdot 1000$$



2.2.3 Full-scale storm simulation (FS-storm)

Bij de *full-scale storm simulation* wordt aan de infiltratievoorziening water toegevoegd volgens een bepaald lozingschema. Dit lozingschema stelt een bepaalde standaardbui voor (zie ook 2.3.3), die wordt gesimuleerd door met een debietmeter continu te meten en met een afsluiter de wateraanvoer iedere vijf minuten aan te passen. Met deze methode kan worden getoetst in hoeverre een systeem de gekozen bui kan verwerken zonder water op straat. Een *time-lapse*-video wordt aanvullend op de druk- en handmetingen gebruikt bij de interpretatie van de meetgegevens.



2.2.4 Monitoring

Aanvullend op de infiltratieproeven worden systemen steeds vaker langdurig gemonitord. Hiervoor gebruikt Waternet zelfontwikkelde meetopstellingen. Sensoren meten iedere 5 minuten het waterniveau in de voorziening, het grondwaterniveau en andere relevante variabelen. Door gebruik te maken van een Internet-of-Things-communicatienetwerk worden meetdata automatisch naar Waternet verstuurd. Deze meetgegevens maken het mogelijk om onder andere de infiltratiesnelheid over de tijd en onder verschillende condities te berekenen. Er kunnen signaalwaarden (KPI's) aan bepaalde metingen worden toebedeeld en via een dashboard kunnen alle stakeholders meekijken naar de prestaties van het systeem.

2.3 Berekening kengetallen

2.3.1 Definities

De definities die in deze rapportage worden gebruikt zijn opgesomd in tabel 2.2.

Tabel 2.2: Definities

Term	Omschrijving	Symbol	Eenheid
Infiltratiesnelheid	De snelheid waarmee het water door de voorziening wordt geïnfiltrerd onder de gegeven omstandigheden.	f_i	mm/uur
Infiltratiecapaciteit	Het maximale volume water dat per uur door de voorziening kan worden afgevoerd onder de gegeven omstandigheden en bij (het toegepaste ontwerp.	f_p	m³/uur
	Het maximale volume water dat per uur per strekkende meter lineaire voorziening kan worden afgevoerd onder de gegeven omstandigheden en bij het toegepaste ontwerp.	f_p	m³/uur/m

Oppervlakte infiltratiesysteem	De infiltrerende oppervlakte van het infiltratiesysteem.	$A_{systeem}$	m^2
Grootte van het aangesloten verharde oppervlak	De oppervlakte waarvan het hemelwater dat erop valt wordt verwerkt door het infiltratiesysteem.	$A_{aangesloten}$	m^2
Buffervolume	Het volume binnen het infiltratiesysteem dat kan worden gebruikt om hemelwater tijdelijk in te bergen voordat het wordt afgevoerd.	V_{buffer}	m^3

2.3.2 Berekening infiltratiecapaciteit

De infiltratiecapaciteit (f_p) wordt berekend op basis van de infiltratiesnelheid volgens:

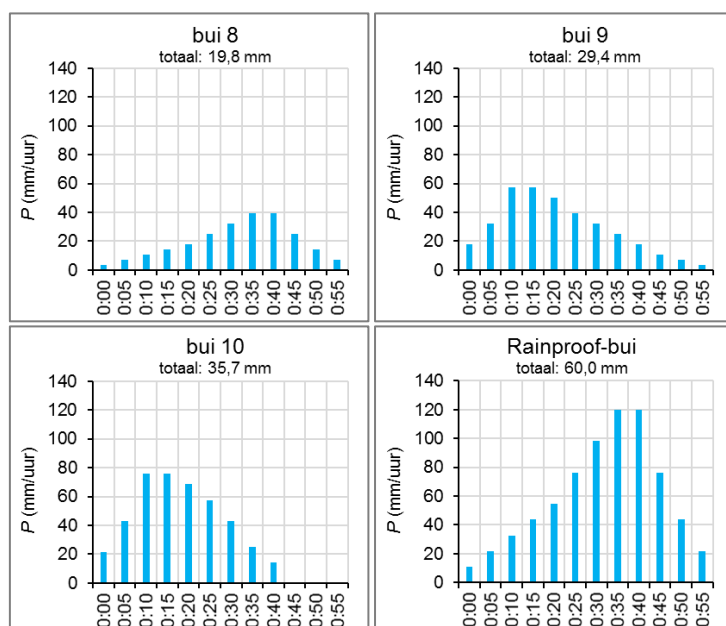
$$f_p \left[\frac{m^3}{uur} \right] = \frac{f_i \left[\frac{mm}{uur} \right]}{1000} \cdot A_{systeem} [m^2]$$

In het geval van een lineair infiltratiesysteem wordt de infiltratiecapaciteit uitgedrukt per strekkende meter voorziening ($m^3/uur/m$).

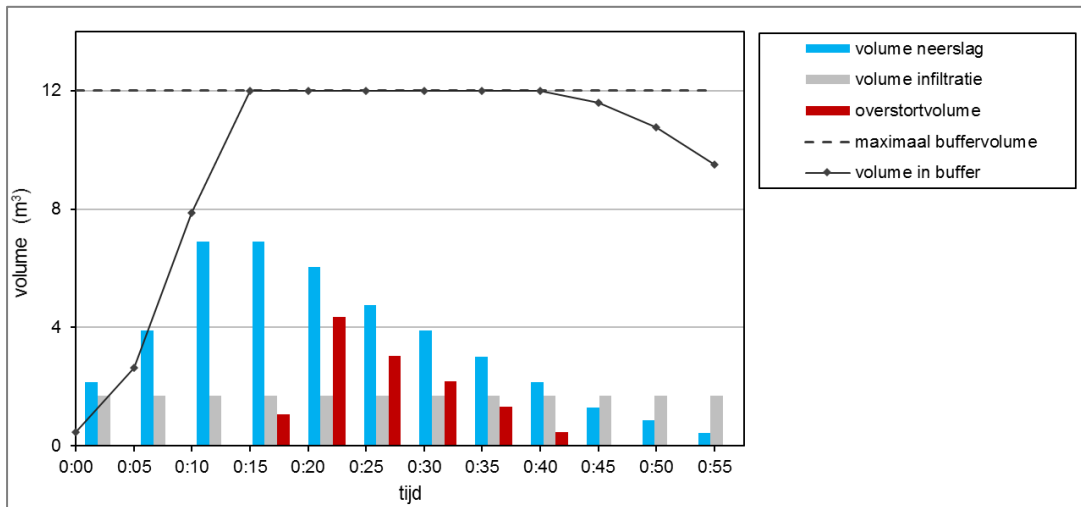
2.3.3 Verwerking van standaard neerslaggebeurtenissen

Bij de evaluatie van de hemelwaterinfiltratievoorzieningen wordt gekeken in hoeverre de systemen bepaalde neerslaggebeurtenissen kunnen verwerken. Dit wordt niet berekend voor de doorlatende verhardingen, omdat dit een vertekend beeld kan geven vanwege de afvoer via bijvoorbeeld kolken. Voor alle overige infiltratievoorzieningen worden de standaardbuien 8, 9 en 10 gebruikt (Stichting Rioned, 2014). Daarnaast wordt de zogenaamde Amsterdam Rainproof-bui toegepast. Dit betreft een standaardbui 8 die is vermenigvuldigd met een factor 3, resulterend in een hoeveelheid neerslag van 60 mm in één uur. Deze bui is afgestemd op de ambitie die de gemeente Amsterdam in het Gemeentelijk Rioleringsplan Amsterdam 2016-2021 uitspreekt voor de verwerking van hemelwater. In het nieuwe Omgevingsprogramma Riolering is de Rainproof-bui verhoogt naar 70 mm in één uur, maar dit rapport gebruikt nog de oude aantallen. De opbouw van de standaardbuien is weergegeven in figuur 2.3.

Figuur 2.3: Standaardbuien 8, 9, 10 en de Amsterdam Rainproof-bui (oud).



Figuur 2.4: Voorbeeld verwerking standaardbui 9



Voor iedere 5 minuten wordt het volume neerslag (V_p) berekend door de neerslag-intensiteit te vermenigvuldigen met de oppervlakte waarvan de gevallen neerslag wordt afgevoerd. Het verschil met de infiltratie wordt voor iedere tijdstap berekend, waarbij rekening wordt gehouden met een eventuele aanvulling van het beschikbare buffervolume (V_{buffer}). Wanneer het maximale buffervolume is bereikt, zal bijvoorbeeld een overstort ($V_{overstort}$) naar het hemelwaterriool plaatsvinden of zal zich water op straat verzamelen. Figuur 2.4 toont hiervan een voorbeeld voor standaardbui 9.

De verwerking van de neerslaggebeurtenis door de infiltratievoorziening wordt vervolgens berekend aan de hand van de cumulatieve volumens:

$$verwerking = \frac{V_p - V_{overstort}}{V_p} \cdot 100\%$$

Hierbij wordt het volgende opgemerkt:

- De af te voeren hoeveelheden neerslag hangen af van de grootte van het aangesloten verharde oppervlak. Daarbij is aangenomen dat 100% van de neerslag die daarop valt door het infiltratiesysteem moet worden verwerkt, in tegenstelling tot bijvoorbeeld gedetailleerde (model)berekeningen waarin wordt gerekend met een infiltratie tussen de 0,5 en 2,0 mm/uur voor open verharding.
- Bij de berekening zijn de dimensies van de onderzochte voorziening gebruikt en is ervan uitgegaan dat het buffervolume aan het begin van de neerslaggebeurtenis volledig beschikbaar is.
- De verwerking van hemelwater door andere systemen in de omgeving die hemelwater verwerken is niet meegenomen.

De gegeven percentages zijn dus systeemspecifiek en puur indicatief voor de mate waarin de voorziening bijdraagt aan de verwerking van hemelwater.

3 Overzichtstabel kengetallen en ervaringen

Tabel 3.1 geeft een overzicht met de kengetallen en ervaringen op basis van het uitgevoerde onderzoek. Bij de interpretatie van deze getallen is het belangrijk om kennis te nemen van de systeem-specifieke omstandigheden op de onderzoekslocatie (ontwerp, omgeving, bodem, uitgevoerd onderhoud etc.) en de eventuele voetnoten. Bij iedere voorziening wordt verwezen naar een hoofdstuknummer voor nadere informatie.

Tabel 3.1: Overzichtstabel kengetallen hemelwaterinfiltratievoorzieningen

Soort voorziening	Type voorziening	Onderzoekslocatie (hoofdstuk nr.)	Gemeten infiltratiesnelheden, mm/uur	Aandachtspunten op basis van het onderzoek		Toepassingsmogelijkheden in Amsterdam
				Ontwerp en realisatie	Beheer en onderhoud	
wadi	natuurvriendelijke wadi met drainage	Harkstraat, Amsterdam (hoofdstuk 4)	204-1050 ⁽¹⁾	Door vergroting van de dimensies van de wadi en/of het verkleinen van het aangesloten verharde oppervlak kunnen intensievere buien worden verwerkt. Drainagesystemen kunnen het functioneren van de wadi sterk beïnvloeden. Hiermee moet rekening worden gehouden in relatie tot de doelstelling van de wadi, zoals vertraging van de hemelwaterafvoer en grondwateraanvulling.	Onderhoud van het groen van een natuurvriendelijke wadi vereist speciale aandacht: niet schoffelen en afvoeren van organisch materiaal.	De inpassing van een wadi in bestaande stedelijke gebieden is wegens het ruimtebeslag niet altijd eenvoudig. In gebieden met grondwateroverlast moet de realisatie van een aanvullend drainagesysteem goed worden afgestemd met de doelstelling van de wadi.
	stedelijke wadi (watervertragende groenstrook)	Zuidelijke Wandelweg, Amsterdam (hoofdstuk 5)	315	Aandacht voor het waterdicht realiseren van de waterbergende kratjes, zodat de functie kan worden vervuld. Daarnaast verbetering van de grindkokers om de kratjes te vullen, waarbij voldoende doorlatendheid kan worden gehandhaafd. De overstort naar het hemelwaterstelsel dient op de juiste hoogte te worden gerealiseerd, zodat de berging in de voorziening maximaal wordt benut.	De beplanting heeft een andere onderhoudsbehoefte dan traditioneel het geval is. Door het vocht kan de schimmelziekte <i>Phytophthora</i> de ontwikkeling van de graslaag hinderen.	Toepasbaar in gebieden met voldoende infiltratiemogelijkheden in relatie tot de bodemgesteldheid (o.a. grondwaterstand).
	natuurvriendelijke wadi met drainage	Merwedeplein, Amsterdam (hoofdstuk 6)	Volgt in update			
doorlatende verharding	waterpasserende bestrating met viltjes	Julianastraat, Egmond aan Zee (hoofdstuk 7)	32-35	De opbouw van het systeem (funderingslaag) is inmiddels door de leverancier geoptimaliseerd, maar de werking daarvan is door Waternet nog niet in de praktijk onderzocht.	Een effectieve onderhoudsmethode waarbij de infiltratiesnelheid wordt geregenereerd is nog niet door Waternet gevonden of getest.	Toepasbaar bij wegen die kunnen worden uitgevoerd met klinkerbestrating, rekening houdend met de grondwaterstanden en de noodzaak tot goede drainage. Niet geschikt voor gebieden met een grote kans op vervuiling.

Soort voorziening	Type voorziening	Onderzoekslocatie (hoofdstuk nr.)	Gemeten infiltratiesnelheden, mm/uur	Aandachtspunten op basis van het onderzoek		Toepassingsmogelijkheden in Amsterdam
				Ontwerp en realisatie	Beheer en onderhoud	
	strook doorlatende verharding met grindkoffer	Argonautenstraat, Amsterdam (hoofdstuk 8)	158 ⁽²⁾	Door vergroting van de grindkoffer (meer berging) kunnen theoretisch intensievere buien worden verwerkt. De afstroming van verontreinigingen naar het systeem moet worden voorkomen vanwege dichtslibbing van het doorlatende oppervlak. Het enkele centimeters lager aanleggen van de infiltratiestrook zorgt voor een ophoping van verontreinigingen.	Afhankelijk van de locatie en mate van verstopping zal het oppervlak van de doorlatende elementen frequent moeten worden gereinigd met een ZOAB-reiniger.	Het systeem is erg gevoelig voor verstopping van het doorlatende oppervlak, waardoor de praktische toepasbaarheid in Amsterdam beperkt is. Mogelijk is een grindkoffer waarop direct de hemelwaterafvoer is aangesloten beter toepasbaar, maar zal verstopping/reiniging van de grindkoffer aandacht vereisen.
	doorlatende klinkerbestrating	Kromme Mijdrechtstraat, Amsterdam (hoofdstuk 9)	parkeerstrook: 189 rijweg: 336 ⁽³⁾	Het ontwerp en de realisatie van de wegfundering heeft invloed op de infiltratiecapaciteit.	Het gebruik van de omgeving beïnvloedt het functioneren over de tijd. De beste reinigingsmethode wordt nog onderzocht.	Toepasbaar bij wegen die kunnen worden uitgevoerd met klinkerbestrating, rekening houdend met de grondwaterstanden. Niet geschikt voor gebieden met een grote kans op vervuiling.
Traditionele verharding	conventionele klinkerbestrating	Waverstraat, Amsterdam (hoofdstuk 10)	Parkeerstrook: 21,55 Rijweg: 11,73	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
ondergrondse lineaire infiltratie	DIT-riool	Argonautenstraat, Amsterdam (hoofdstuk 11)	141 ⁽⁴⁾	Afstroming van onopgeloste bestanddelen naar het DIT-riool zoveel mogelijk voorkomen vanwege de kans op dichtslibbing. DIT-riolen moet altijd met water zijn gevuld om verstopping van de poriën met ijzer te voorkomen.	Regelmatig uitvoeren van inspecties en (indien nodig) reiniging van het DIT-riool. Bij reiniging moet een aangepaste reinigingsmethode worden toegepast, aangezien bij de conventionele werkwijze vervuiling de poriën in kan worden gedrukt en het geotextiel kan worden beschadigd.	In een groot deel van Amsterdam is de bodem (goed doorlatend zand) geschikt voor toepassing van DIT-riolen, maar dient de geohydrologische situatie dit ook toe te laten.
	drainagesysteem	Schoener, Diemen (hoofdstuk 12)	173	Door optimalisatie van het ontwerp, zoals vergroting van de drainagebuis wordt het infiltrerende oppervlak vergroot en kan meer water worden geïnfilteerd. Dit moet wel in samenhang met het drainage-aspect worden bekeken.	De sliblaag moet regulier uit de hemelwaterputten worden verwijderd om een optimale werking te behouden.	Aan een drainagesysteem kan enige hemelwaterafvoercapaciteit door infiltratie worden toegekend.

Soort voorziening	Type voorziening	Onderzoekslocatie (hoofdstuk nr.)	Gemeten infiltratiesnelheden, mm/uur	Aandachtspunten op basis van het onderzoek		Toepassingsmogelijkheden in Amsterdam
				Ontwerp en realisatie	Beheer en onderhoud	
infiltratieveld	grindtuin	De Mirandalaan, Amsterdam (hoofdstuk 13)	6,5 - 34	<p>Het scheidingsdoek tussen het grind en het onderliggende zandpakket dient netjes en op de juiste hoogte te worden aangebracht.</p> <p>Aandacht voor een goed afschot van het aangesloten verhard oppervlak richting de grindtuin.</p>	<p>Vervuiling en boombladeren in de infiltratietuin dienen regelmatig te worden verwijderd om een mogelijke afname van de infiltratiecapaciteit te voorkomen.</p> <p>Het grind kan zich verspreiden in de omgeving en daar tot overlast leiden. Daarom wordt geadviseerd om verspreid grind rondom de voorziening regelmatig op te ruimen.</p>	<p>Het is mogelijk om een infiltratiesysteem met een speelplaats te combineren. De toepassing van grind in een speelplaats dient voor specifieke locatie overwogen te worden i.v.m. verspreiding van grind buiten de voorziening. Daarnaast dient aandacht te zijn voor verontreiniging van het grind bij een lage kwaliteit van het afstromende hemelwater.</p> <p>Dergelijke infiltratievelden met grind zijn ook goed toepasbaar bij bermen of parkeerplaatsen.</p> <p>Het grondwatervniveau kan invloed hebben op het functioneren van de voorziening. De omgeving rondom de infiltratiebak, met relatief veel groen en andere waterdoorlatende voorzieningen, beïnvloedt de lokale grondwaterstand.</p>
ondergrondse buffer en infiltratie	steenwol	Kruislaan, Amsterdam (hoofdstuk 14)	1,14 ⁽⁵⁾	<p>Tijdens het ontwerp beter rekening houden met de impact van een slecht doorlatende ondergrond en het effect daarvan op het grondwaterpeil, het waterniveau in het buffersysteem en de infiltratiesnelheid.</p> <p>Voorkom dat tijdens uitvoering ongewenste aanpassingen aan het ontwerp worden gemaakt.</p>	Aandacht voor het vast- of tegenhouden van onopgeloste bestanddelen, voordat het in het infiltratiesysteem stroomt.	Indien het steenwolpakket goed wordt geplaatst, onder het steenwolpakket zich goed doorlatende grond bevindt en als het grondwatervniveau ruim onder het infiltratiepakket staat, kan dit systeem een goede bijdrage leveren aan de verwerking van hemelwater (bufferen en infiltreren).
	steenwol	Abrikozenstraat, Amsterdam (hoofdstuk 15)	n.v.t.	Tijdens het ontwerp beter rekening houden met de lokale grondwaterstanden en eventuele lokale afwijkingen in de grondwaterstand.	Aangeraden wordt om de valkolken regelmatig te reinigen om hinder in de toevoer naar het systeem te voorkomen.	Zie hierboven benoemd.
	verdampings- en infiltratiekratten	Kattenburgerstraat, Amsterdam (hoofdstuk 16)	n.v.t.	<p>Denk goed na over welk type oppervlak (dak en/of fiets- en voetpad) wordt aangesloten op het systeem. Hierbij rekening houden met het risico op vervuiling en verstopping van het systeem.</p> <p>Deze systemen vereisen een nauwgezette uitvoering; waterpas aanleggen van het krattenveld en op</p>	Verbindingen tussen de afzonderlijke onderdelen van het systeem zijn gevoelig voor verstopping.	De toegevoegde waarde voor het groen en het voorkomen van hittestress moet nog worden onderzocht.

Soort voorziening	Type voorziening	Onderzoekslocatie (hoofdstuk nr.)	Gemeten infiltratiesnelheden, mm/uur	Aandachtspunten op basis van het onderzoek		Toepassingsmogelijkheden in Amsterdam
				Ontwerp en realisatie	Beheer en onderhoud	
				de juiste hoogtes realiseren van overstorten.		
	prefab betonnen elementen	Beethovenstraat, Amsterdam (hoofdstuk 17)	6,5	Kritieke onderdelen, zoals een verdeelkolk, dienen volgens ontwerp te worden uitgevoerd. Na realisatie de aanwezigheid en werking controleren.	Kolken die in serie zijn geschakeld en een verdeelkolk kunnen problemen geven bij verstopping.	De combinatie van berging en draagkracht is interessant bij klimaatadaptieve uitdagingen in de stedelijke omgeving.

⁽¹⁾ De infiltratiesnelheid wordt sterk beïnvloed door de aanwezige drainagesystemen en de heersende grondwaterstand. Raadpleeg hoofdstuk 4 voor meer informatie.

⁽²⁾ Alleen voor een systeem dat niet is verstopt. Het systeem blijkt in de praktijk erg gevoelig te zijn voor dichtslibbing van het doorlatend oppervlak, waardoor de bepaalde infiltratiesnelheid niet meer wordt gehaald.

⁽³⁾ De rijweg en parkeerstroken hebben, naast een ander gebruikspatroon, een verschillende funderingsopbouw.

⁽⁴⁾ Bij een maximaal potentiaalverschil tussen de grondwaterstand en het niveau in het DIT-riool, zie de meetresultaten in hoofdstuk 9.

⁽⁵⁾ De resultaten worden sterk beïnvloed door verkeerde ontwerpuitgangspunten m.b.t. de bodemopbouw en grondwaterstand en veranderingen tijdens de realisatie.

Algemene aandachtspunten

Op basis van de onderzoeken aan verschillende, nog niet allemaal in document gerapporteerde, systemen kunnen een aantal overeenkomstige aandachtspunten worden opgesteld.

- Functionele eisen en monitoring

Het doel waarvoor een voorziening wordt aangelegd is niet altijd duidelijk van te voren vastgelegd. Een systeem kan naast het voorkomen van wateroverlast, ook andere klimaatadaptieve doelen nastreven zoals het tegengaan van wateronderlast en hittestress. Deze verschillende doelen kunnen tot conflicterende ontwerpkeuzes leiden. Denk hierbij aan het maximaal vasthouden van hemelwater t.b.v. verdamping, terwijl tegelijkertijd voldoende berging beschikbaar moet zijn om intensieve regenbuien op te vangen. Het wordt geadviseerd om in de ontwerpfase duidelijke functionele eisen op te stellen. Bijvoorbeeld de maximale tijd waarbinnen de voorziening leeg moet zijn, maar ook een minimale vertraging van hemelwaterafvoer. Kwantitatieve eisen maken het mogelijk om de prestatie van de voorziening te monitoren en op basis daarvan beheermaatregelen uit te voeren.

- Robuust ontwerp

Er worden steeds vaker systemen ontworpen die verschillende voorzieningen combineren en afstromend hemelwater op basis van de neerslagintensiteit verdelen over verschillende objecten met verschillende functies, zoals bufferen, infiltreren, verdampen of afvoeren via het hemelwaterstelsel. Deze ontwerpen vereisen een nauwgezette uitvoering, waarbij alle verbindingen en overstorten op het juiste niveau worden aangelegd. In de praktijk blijken dergelijke voorzieningen bij de realisatie vragen op te roepen, waardoor een voorziening verkeerd wordt aangelegd en de werking na oplevering onduidelijk is. Daarnaast kan het falen van één object gevolgen hebben voor het functioneren van het hele systeem. Het wordt daarom geadviseerd om in het ontwerp een goede balans tussen complexiteit en robuustheid van het systeem te bewaren. Tijdens de realisatie dient aandacht voor de beoogde werking van het systeem te worden geborgd.

- Vervuiling

Het functioneren van veel systemen blijkt gevoelig voor verstopping door vuil. Dit kan relatief grof materiaal zijn (zoals blaadjes), maar ook kleinere opgeloste bestanddelen (< 63 µm). Volledige regeneratie van systemen is niet altijd eenvoudig of mogelijk. Het wordt geadviseerd om in het ontwerp aandacht te hebben voor de onderhoudbaarheid en de benodigde onderhoudsconcepten (inclusief monitoring) direct na realisatie te implementeren. *Waternet doet momenteel onderzoek naar de effectiviteit van verschillende hemelwaterbehandelingsystemen die voor een voorziening kunnen worden geplaatst.*

4 Natuurvriendelijke wadi met drainage Harkstraat

In de wijk Betondorp heeft de gemeente Amsterdam in 2017 een wadi aangelegd op de kruising tussen de Harkstraat en de Gaffelstraat.

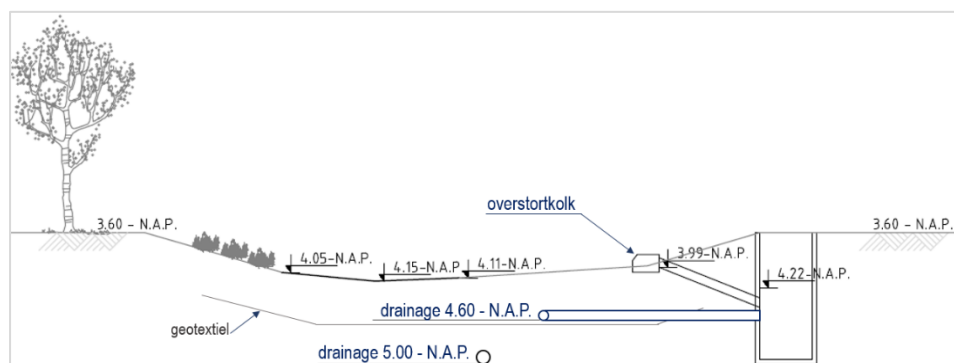


Soort infiltratievoorziening	wadi
Type infiltratievoorziening	natuurvriendelijke wadi met drainage
Locatie	Harkstraat, Amsterdam
Omgeving	woonwijk, laagbouw met relatief veel groen
Bodem	1,8 m matig-grof zand
Grondwater	0,7-1,2 m onder het maaiveld drainagestelsel met instelniveau: NAP -4,7 m
Realisatiejaar	2017
Beheer en onderhoud	groenonderhoud

4.1 Ontwerp infiltratiesysteem

Figuur 4.1 toont de dwarsdoorsnede van de wadi in de Harkstraat. Enkele ontwerpkenmerken zijn opgenomen in tabel 4.1.

Figuur 4.1: Dwarsdoorsnede natuurvriendelijke wadi Harkstraat



Tabel 4.1: Ontwerpkarakteristieken natuurvriendelijke wadi Harkstraat.

Oppervlakte infiltratiesysteem	100 m ²
Aangesloten verhard oppervlak	1340 m ²
Buffervolume	12 m ³
Opbouw infiltratiesysteem	wadi met diverse beplanting grondverbetering (<i>Green to Colour 3</i>) drainage op hemelwaterriool (B.O.B. op NAP -4,6 m) geotextiel drainage op drainagesetel (B.O.B. op NAP -5,0 m)

4.2 Onderzoeksresultaten en kengetallen

Tabel 4.2 geeft een samenvatting van de onderzoeksresultaten en de daaruit berekende kengetallen. Figuur 4.2 toont het verloop van de gemeten infiltratiesnelheden. De infiltratiesnelheid blijkt sterk te worden beïnvloed door de aanwezige drainagesystemen en de heersende grondwaterstand. Daarom is in een droge periode met lage grondwaterstand, zoals in mei 2019, de vertragende werking en de grondwateraanvulling door deze wadi minimaal (Votel, 2019). Hiermee moet rekening worden gehouden als een wadi (mede) voor die doelen wordt aangelegd. In december 2019 is een proef uitgevoerd terwijl de drainagesystemen onder de wadi afgesloten waren. De gemeten infiltratiesnelheid is vergelijkbaar met april 2018 (Votel en El Ayadi, 2020).

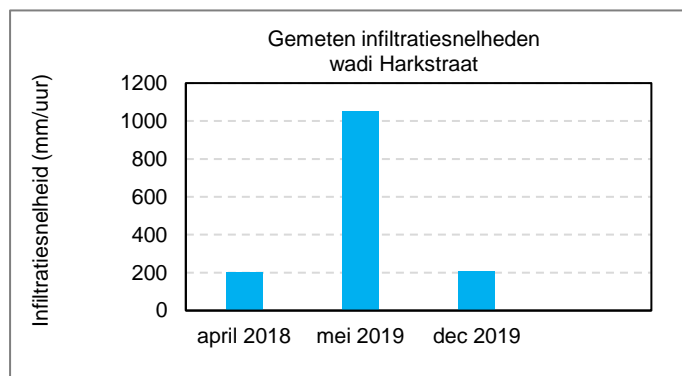
Tabel 4.2: Onderzoeksresultaten en kengetallen wadi Harkstraat (El Ayadi, 2018).

Datum	Leeftijd jaar	Methode	Infiltratiesnelheid door voorziening mm/uur	Infiltratiecapaciteit van voorziening m ³ /uur mm/uur		Verwerking			
						Bui 8 %	Bui 9 %	Bui 10 %	Rainproof %
20-04-2018	0,5	FSFH	204	20,4	14,2	100	70	53	37
16-05-2019	1,5	FSFH	1050 ⁽¹⁾	105,0	72,9	100	100	100	97
03-12-2019	2,0	FSFH	207 ⁽²⁾	20,7	14,4	100	71	54	37

⁽¹⁾ Resultaat sterk is beïnvloed door drainagesystemen.

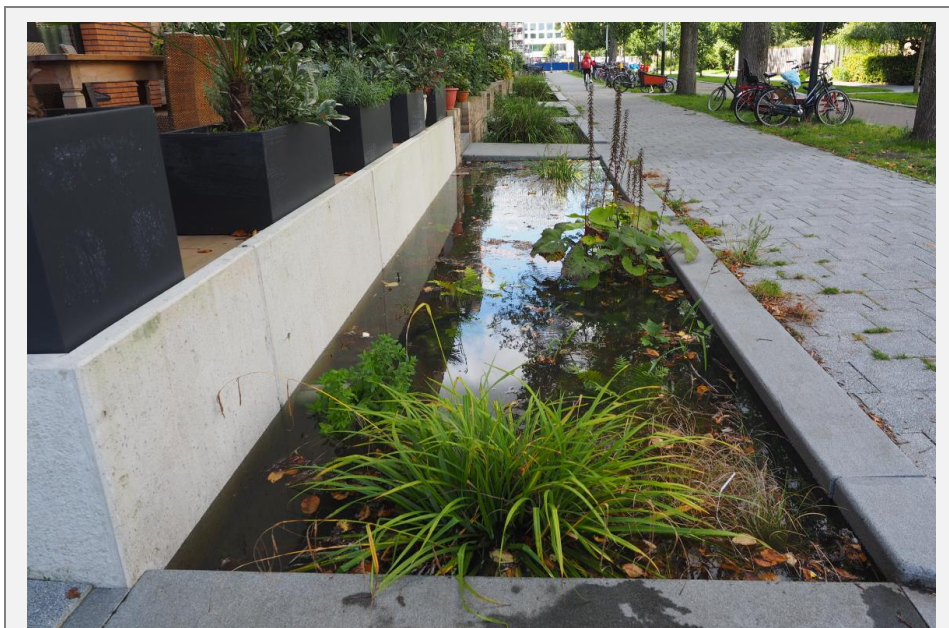
⁽²⁾ Bepaald bij afgesloten drainagesystemen onder de wadi.

Figuur 4.2: Verloop gemeten infiltratiesnelheden natuurvriendelijke wadi Harkstraat



5 Stedelijke wadi Zuidelijke Wandelweg

Langs de Zuidelijke Wandelweg zijn sinds 2016 stedelijke wadi's aangelegd. Dergelijke voorzieningen worden ook wel 'groene gracht' of 'watervertragende groenstrook' genoemd.

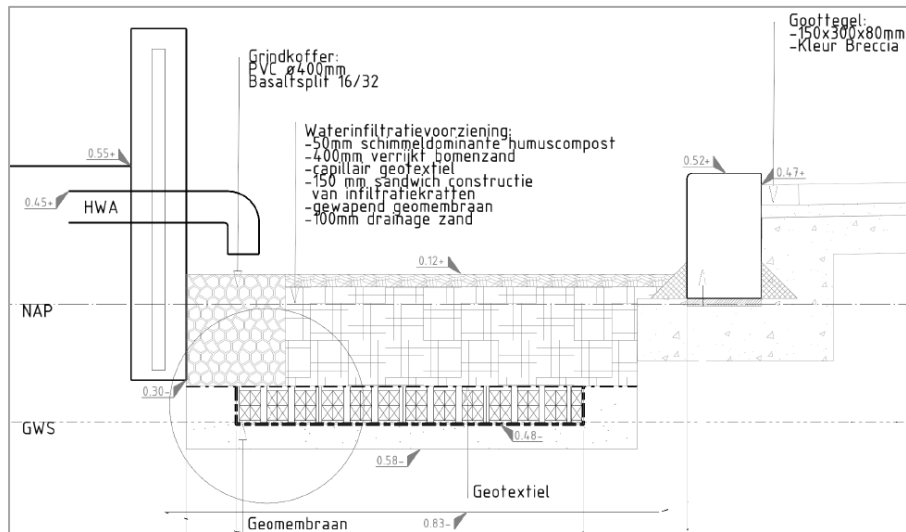


Soort infiltratievoorziening	wadi
Type infiltratievoorziening	stedelijke wadi
Locatie	Zuidelijke Wandelweg, Amsterdam
Omgeving	woonwijk, nabij oppervlaktewater
Bodem	zand
Grondwater	1-1,5 m onder het maaiveld
Realisatiejaar	2017
Beheer en onderhoud	regulier groenonderhoud; verwijderen onkruid

5.1 Ontwerp infiltratiesysteem

Figuur 5.1 toont de dwarsdoorsnede van de stedelijke wadi. Het onderzoek is uitgevoerd op een afgebakend deel van de stedelijke wadi. Enkele ontwerpkenmerken van dit proefvak zijn opgenomen in tabel 5.1. Het water van het aangesloten oppervlak stroomt in verticale pvc-buizen, die gevuld zijn met grind. Grindkoffers zijn voor de helft geplaatst boven waterbergende kratjes en voor de andere helft boven de bodem (zie ook figuur 5.1). De bodem en de zijkant van de kratjes zijn waterdicht gemaakt met gewapend geomembraan. Hierdoor wordt regenwater opgeslagen en wordt de beplanting in droge perioden van water voorzien. In de wadi zijn meerdere overstortmogelijkheden (slokops) naar het hemelwaterstelsel.

Figuur 5.1: Dwarsdoorsnede stedelijke wadi Zuidelijke Wandelweg



Tabel 5.1: Ontwerpkarakteristieken stedelijke wadi Zuidelijke Wandelweg (proefvak)

Oppervlakte infiltratiesysteem	50 m ²
Aangesloten verhard oppervlak	1512 m ²
Buffervolume	20 m ³
Opbouw infiltratiesysteem	wadi met diverse beplanting 45 cm schimmel dominante humuscompost en verrijkt bodemzand waterbergende kratjes (150 mm hoog) drainagezand overstortdrempel op 0,44 m NAP

5.2 Onderzoeksresultaten en kengetallen

Tabel 5.2 bevat een samenvatting van de onderzoeksresultaten en de daaruit berekende kengetallen. De infiltratiesnelheid van het onderzochte proefvak bedraagt 315 mm/uur. Uit het onderzoek is bovendien gebleken dat de waterbergende kratjes na vulling in minder dan één uur leeglopen. De bergingsfunctie van de kratjes ontbreekt, waardoor deze tijdens droge perioden geen water kunnen afgeven aan beplanting. Daarnaast is vastgesteld dat de doorlatendheid van de grindkokers beperkt is tot ca. 300 liter/uur, mogelijk veroorzaakt door een foutief ontwerp of verkeerde uitvoering, dan wel een verstopping van de kokers of het geotextiel door vervuiling. Bij lage neerslagintensiteiten worden de waterbergende kratjes hierdoor niet gevuld.

Tabel 5.2: Onderzoeksresultaten en kengetallen stedelijke wadi Zuidelijke Wandelweg (El Ayadi en Votel, 2020).

Datum	Leeftijd jaar	Methode	Infiltratiesnelheid door voorziening mm/uur	Infiltratiecapaciteit van voorziening		Verwerking			
				m ³ /uur	mm/uur	Bui 8 %	Bui 9 %	Bui 10 %	Rainproof %
18-09-2019	1,5	FSFH	315	15,8	10,1	100	78	60	39

6 Natuurvriendelijke wadi met drainage Merwedeplein

In 2024 zal er een infiltratie proef worden uitgevoerd bij wadi op het Merwedeplein. Nadere informatie volgt in de volgende versie van dit document.



Soort infiltratievoorziening	wadi
Type infiltratievoorziening	Natuurvriendelijke wadi
Locatie	Merwedeplein, Amsterdam
Omgeving	Woonwijk
Bodem	-
Grondwater	0,5 - 1 m onder maaiveld
Realisatiejaar	2020-2021
Beheer en onderhoud	-

7 Waterpasserende bestrating met viltjes Bergen

Het wegdek van de Julianastraat in Egmond aan Zee is in 2013 deels uitgevoerd met viltjes als voegmateriaal tussen de klinkers. In samenwerking met de gemeente Bergen is het functioneren na vijf jaar onderzocht.

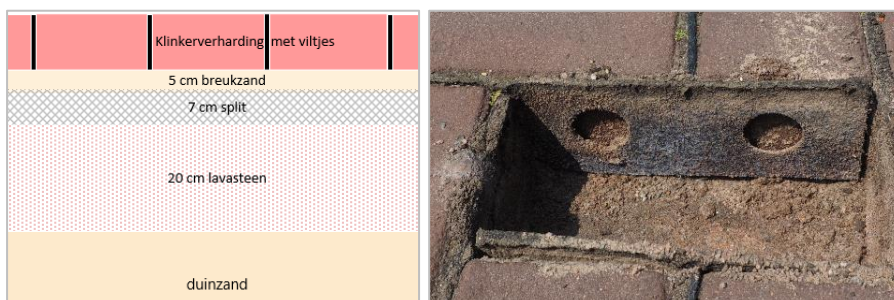


Soort infiltratievoorziening	doorlatende verharding
Type	waterpasserende bestrating met viltjes als voegmateriaal
Locatie	Julianastraat, Egmond aan Zee
Omgeving	woonwijk, geen bomen, lage verkeersintensiteit
Bodem	duinzand
Grondwater	~10 meter onder maaiveld
Realisatiejaar	2013 (systeem is in 2019 verwijderd)
Beheer en onderhoud	regulier straatvegen

7.1 Ontwerp infiltratiesysteem

Figuur 7.1 toont de systeemsopbouw (links) en een voorbeeld van een voeg (viltachtig materiaal, PP/PE) op de onderzoekslocatie. Enkele ontwerpkenmerken zijn opgenomen in tabel 7.1.

Figuur 7.1: Systeemsopbouw (links) en geplaatst vilt op de onderzoekslocatie



Tabel 7.1: Ontwerpkarakteristieken waterpasserende bestrating met viltjes

Oppervlakte infiltratiesysteem	49 m ² , waarvan 5,5% viltjes
Aangesloten verhard oppervlak	81,6 m ²
Buffervolume	0 m ³
Opbouw infiltratiesysteem	Zie figuur 6.1. Een andere opbouw van de funderingslaag zou volgens de leverancier kunnen leiden tot beter functioneren van het systeem, maar dit heeft Waternet nog niet in de praktijk onderzocht.

7.2 Onderzoeksresultaten en kengetallen

Tabel 7.2 bevat een samenvatting van de onderzoeksresultaten en de daaruit berekende kengetallen. Figuur 7.2 toont het verloop van de gemeten infiltratiesnelheden.

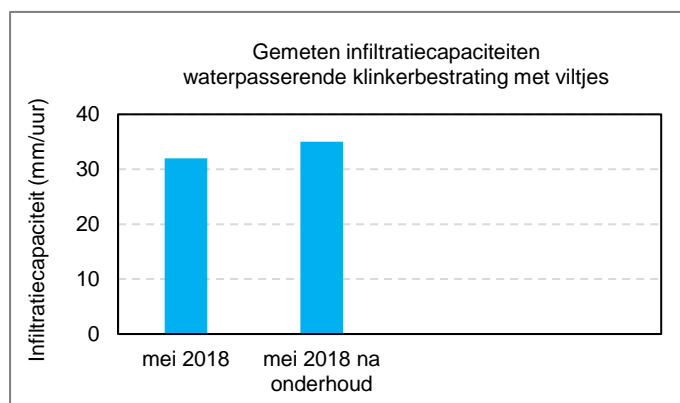
De infiltratiesnelheid ligt lager dan de 198 mm/uur die bij laboratoriumonderzoek door Tauw is gemeten (Boerma & Boogaard, 2012). Een tweede meting na het uitvoeren van onderhoud met een straatveegmachine resulteerde niet in een substantiële verhoging van de infiltratiesnelheid (16%). Tijdens de uitvoering van de proef zijn luchtballen waargenomen, wat kan duiden op luchtinsluiting in de bodem waardoor minder water wordt geïnfilteerd.

Tabel 7.2: Onderzoeksresultaten en kengetallen waterpasserende bestrating met viltjes (El Ayadi & Nijman, 2019).

Datum	Leeftijd jaar	Methode	Infiltratiecapaciteit van voorziening mm/uur	Verwerking			
				Bui 8 %	Bui 9 %	Bui 10 %	Rainproof-bui %
25-05-2018	5	FSFH	32	53	38	25	20
			35 ⁽¹⁾	56	40	28	22

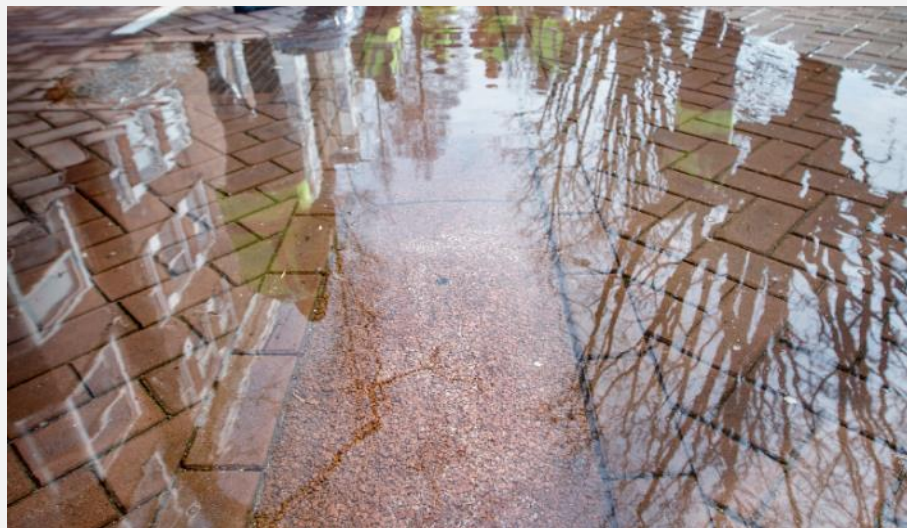
⁽¹⁾ Resultaat van de tweede meting na het uitvoeren van onderhoud met een reguliere straatveegmachine.

Figuur 7.2: Gemeten infiltratiesnelheden waterpasserende bestrating met viltjes



8 Strook doorlatende verharding Argonautenstraat

In de Argonautenstraat is over een lengte van 129 m een strook doorlatende verharding met grindkoffer gerealiseerd ter hoogte van de middellijn van het wegdek.

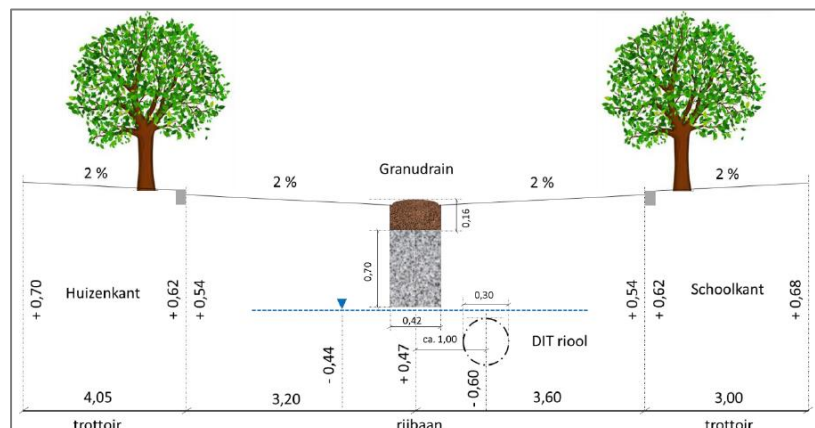


Soort infiltratievoorziening	doorlatende verharding
Type	strook doorlatende verharding met grindkoffer
Locatie	Argonautenstraat, Amsterdam
Omgeving	woonwijk, weg met bomen aan weerszijden van de weg
Bodem	ophoogzand; $k = 5 - 10$ m/dag
Grondwater	gemiddeld 1 meter onder maaiveld
Realisatiejaar	2015
Beheer en onderhoud	regulier straatvegen

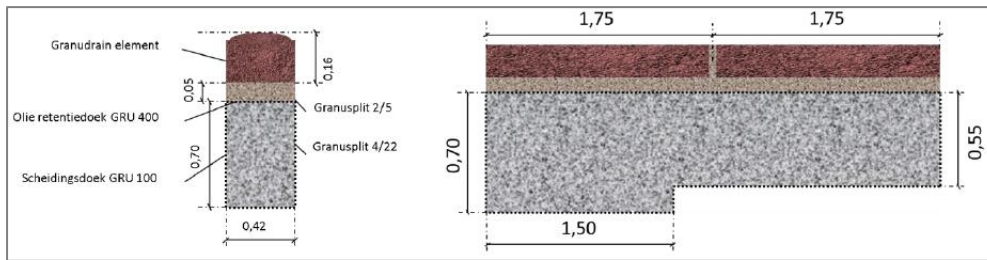
8.1 Ontwerp infiltratiesysteem

De opbouw van het infiltratiesysteem en de ligging in de straat zijn weergegeven in de figuren 8.1 en 8.2. Tabel 8.1 toont enkele ontwerpkenmerken.

Figuur 8.1: Doorsnede Argonautenstraat met de ligging van het systeem (Abas, 2017)



Figuur 8.2: Doorsnede en opbouw infiltratiesysteem (Abas, 2017)



Tabel 8.1: Ontwerpkarakteristieken voor onderzoekslocatie

Langte onderzocht systeem	34 m
Infiltrerend oppervlak grindkoffer	33 m ²
Aangesloten verhard oppervlak	596 m ²
Buffervolume in grindkoffer	3,12 m ³
Opbouw infiltratiesysteem	Zie figuur 7.2

Het systeem bestaat uit een grindkoffer met daarboven waterdoorlatende elementen. Het DIT-riool wordt gezien als een apart infiltratiesysteem en wordt behandeld in hoofdstuk 8.

8.2 Onderzoeksresultaten en kengetallen

Tabel 8.2 geeft een samenvatting van de onderzoeksresultaten en de daaruit berekende kengetallen. De gemeten infiltratiesnelheid geldt voor een systeem dat niet verstopt is. Uit ervaring blijkt dat het oppervlak van de doorlatende elementen aan het maaiveld zeer gevoelig is voor vervuiling, waardoor het systeem verstopt en de infiltratiesnelheid sterk afneemt (figuur 8.3). De conditie van het doorlatende oppervlak is hierdoor bepalend voor het functioneren van het totaalsysteem in de praktijk.

Tabel 8.2: Onderzoeksresultaten en kengetallen strook doorlatende verharding met grindkoffer (Abas, 2017).

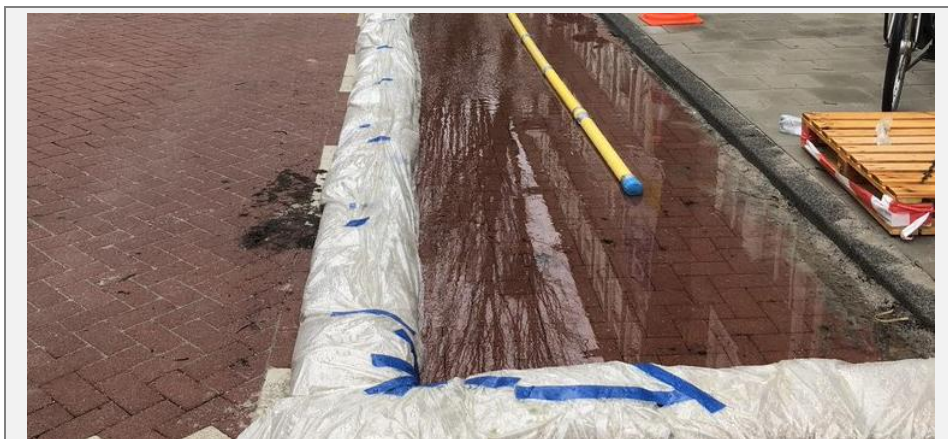
Datum	Leeftijd jaar	Methode	Infiltratiesnelheid door voorziening mm/uur	Infiltratiecapaciteit van voorziening m ³ /uur/m	Verwerking			
					Bui 8 %	Bui 9 %	Bui 10 %	Rainproof %
10-03-2016	1,0	FS-storm	158,3	0,153	67	46	33	23

Figuur 8.3: Vervuiling van het systeem



9 Doorlatende klinkerbestrating Kromme Mijdrechtstraat

In 2020 is de Kromme Mijdrechtstraat heringericht waarbij waterdoorlatende klinkerbestrating is toegepast.



Soort infiltratievoorziening	doorlatende verharding
Type	doorlatende klinkerbestrating
Locatie	Kromme Mijdrechtstraat, Amsterdam
Omgeving	woonwijk met bomen aan weerszijde van de weg
Bodem	ophoogzand
Grondwater	ca. 1 meter onder maaiveld
Realisatiejaar	2020
Beheer en onderhoud	regulier straatvegen

9.1 Ontwerp infiltratiesysteem

Tabel 9.1 geeft enkele ontwerpkenmerken en de opbouw van de voorziening (de proefvakken).

Tabel 9.1: Ontwerpkenmerken proefvakken

Oppervlakte infiltratiesysteem	42,5 m ² (rijweg) 40 m ² (2 parkeerstroken)
Aangesloten verhard oppervlak	80 m ² (2x trottoir)
Buffervolume	0 m ³
Opbouw infiltratiesysteem onder rijweg	Doorlatende klinkerverharding 50 mm vlijlaag van drainzand scheidingsdoek 250 mm drainmix met 35% holle ruimte geotextiel drain in pakket drainzand
Opbouw infiltratiesysteem onder parkeerstroken	doorlatende klinkerverharding 50 mm vlijlaag van kalkvrij brekerszand zandbed

Tussen de rijweg en de parkeervakken bevinden zich valkolken die zijn aangesloten op de hemelwaterriolering.

9.2 Onderzoeksresultaten en kengetallen

Tabel 9.2 bevat een samenvatting van de onderzoeksresultaten en de daaruit berekende kengetallen. Het onderzoek loopt nog door in 2023.

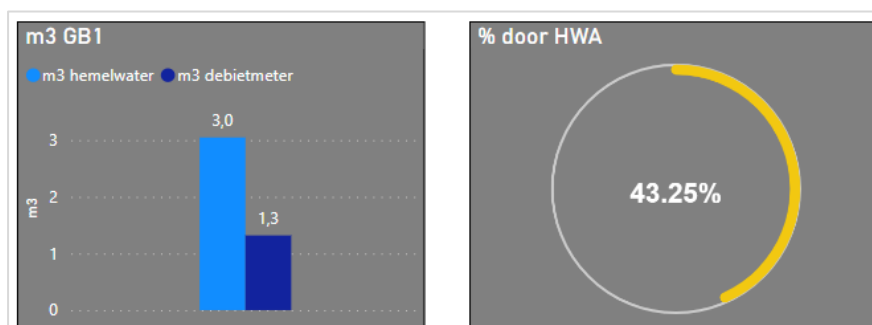
Tabel 9.2: Onderzoeksresultaten en kengetallen (Votel, 2021).

Datum	Leeftijd jaar	Methode	Infiltratiesnelheid door voorziening		Infiltratiecapaciteit van voorziening	
				mm/uur	m ³ /uur	mm/uur
18-03-2021	0,25	FSFH	Rijweg:	336	14,3	-
			Parkeerstrook:	189	7,6	-
			Gemiddeld:	265	21,9	134,5

Waterbalans

Het systeem in de praktijk is complexer door onder andere afvoer via kolken en de toe- en afvoer van water via de drain. De totale waterbalans van het proefvak wordt daarom met debietmeters gemonitord. Figuur 9.1 laat hiervan een voorbeeld zien. Tijdens een neerslaggebeurtenis op 19 juni 2022 is ongeveer 43% van het afstromende hemelwater door de kolken naar het hemelwaterriool gestroomd. Dit betekent dat 57% via de waterdoorlatende klinker is geïnfiltreerd in de bodem of op een andere manier niet tot afstroming gekomen. Een debietmeter in het DIT-riool gaat inzicht geven in de ondergrondse waterafvoer (in natte periode) en wateraanvoer (in droge periode).

Begin 2023 zal een vergelijkbare waterbalans worden gemaakt voor een straat met een reguliere bestrating en wegfundering (referentiestraat). Dit moet inzicht geven in het percentage neerslag dat niet door het riool wordt afgevoerd, maar bijvoorbeeld infiltreert via de voegen.



Figuur 9.1: Voorbeeld monitoring: berekend neerslagvolume en gemeten afvoer via kolken naar hemelwaterriolering (HWA) voor een neerslaggebeurtenis op 19 juni 2022.

In de tweede helft van 2023 wordt de doorlatende klinkerbestrating mogelijk verwijderd, vanwege problemen met spoorvorming en beheerbaarheid. De onderzoeklocatie blijft interessant voor het testen van een ander systeem.

10 Traditionele klinkerbestrating Waverstraat

In de Waverstraat ligt een traditionele klinkerbestrating. De doorlatendheid van deze straat is getest om te weten hoe de doorlatendheid van een traditionele klinkerbestrating zich verhoudt tot doorlatende verharding.



Soort voorziening	referentiestraat
Type	traditionele klinkerbestrating
Locatie	Waverstraat, Amsterdam
Omgeving	Bomen aan zuidelijke zijde van de straat
Bodem	ophoogzand
Grondwater	ca. 1 meter onder maaiveld
Realisatiejaar	-
Beheer en onderhoud	regulier straatvegen

10.1 Ontwerp van de weg

Tabel 10.1: Ontwerpkarakteristieken proefvakken

Oppervlakte infiltratiesysteem	36 m ² (rijweg) 18 m ² (2 parkeerstroken)
Buffervolume	0 m ³
Opbouw infiltratiesysteem onder rijweg	95 mm klinkerverharding 80 mm zandlaag grof puinsteen
Opbouw infiltratiesysteem onder parkeerstroken	95 mm klinkerverharding 80 mm zandlaag grof puinsteen

10.2 Onderzoeksresultaten en kengetallen

Tabel 10.2 bevat een samenvatting van de onderzoeksresultaten en de daaruit berekende kengetallen.

Tabel 10.2: Onderzoeksresultaten en kengetallen (van der Kooy, 2023).

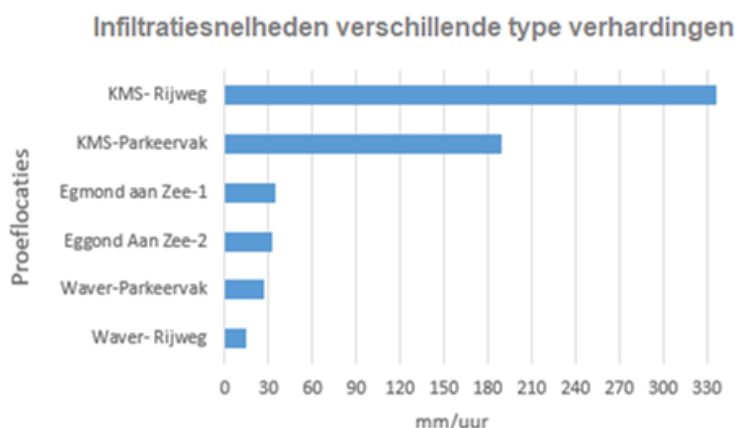
Datum	Leeftijd	Methode	Infiltratiesnelheid door voorziening	Infiltratiecapaciteit van voorziening
	jaar		mm/uur	m ³ /uur
31-10-2023	-	FSFH	Rijweg: 11,73	0,42
			Parkeerstrook: 21,55	0,39
			Gemiddeld: 15,00	0,81

De metingen in de Waverstraat zijn genomen in een natte periode wat betekent dat de bodem op het moment van de proef behoorlijk verzadigd was. De uitkomsten in tabel 10.2 geven dan ook een realistisch beeld voor natte perioden.

Tijdens de proeven zijn er kleine lekkages in de afdamming gedetecteerd. Doordat de lekkages gedurende de proef constant bleven, is een lekverlies berekend van 20%. Dit is al doorberekend in de getallen in tabel 10.2.

De resultaten laten zien dat de infiltratiesnelheid in het parkeervak hoger ligt ten opzicht van de rijweg. Dit verschil is mogelijk te wijten aan verschillen in bodemopbouw en conditie van de bodem, de exacte bodemopbouw voor beide proefvakken is niet bekend.

In figuur 10.1 zijn de resultaten vergeleken met eerdere proeven op andere locaties. De infiltratiesnelheid van de Waverstraat (Waver-Rijweg) vertoont een aanzienlijk verschil ten opzichte van de infiltratiesnelheden van andere doorlatende verhardingen, zoals de doorlatende klinkerbestrating in de Kromme Mijdrechtstraat (KMS-Rijweg en KMS-Parkeervak) en de waterpasserende bestrating met viltjes in Bergen (Egmond aan Zee-1 en 2).



Figuur 10.1 Vergelijking eerder gemeten infiltratie snelheden (van der Kooy, 2023)

Met de resultaten kan worden nagegaan of de investering oplevert wat ervan wordt verwacht, rekening houdend dat de conventionele klinkers minder onderhoud nodig hebben ten opzicht van doorlatende verhardingen.

11 DIT-riool Argonautenstraat

In de Argonautenstraat is in 2015 tevens een Drainage-Infiltratie en Transportriool (DIT-riool) aangelegd als vervanging van het traditionele hemelwaterriool. Het doel van het DIT-riool is het draineren, infiltreren en transporteren van water, afhankelijk van het waterniveau in de bodem (grondwater) en in het riool (oppervlaktewater).

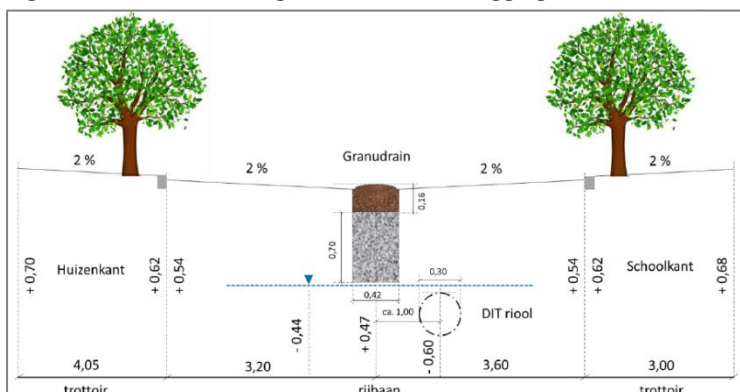


Soort infiltratievoorziening	lineaire ondergrondse infiltratie
Type	DIT-riool
Locatie	Argonautenstraat, Amsterdam
Omgeving	woonwijk, weg met bomen aan weerszijden van de weg
Bodem	ophoogzand; $k = 5 - 10$ m/dag
Grondwater	gemiddeld 1 meter onder maaiveld
Realisatiejaar	2015
Beheer en onderhoud	reiniging en inspectie van de buis in 2016

11.1 Ontwerp infiltratiesysteem

De ligging van het DIT-riool in de straat is weergegeven in figuur 11.1. Tabel 11.1 toont enkele ontwerpkenmerken.

Figuur 11.1: Doorsnede Argonautenstraat met ligging DIT-riool



Tabel 11.1: Ontwerpkarakteristieken DIT-riool

Lengte onderzocht infiltratiesysteem	62,3 m
Diameter infiltratiesysteem	300 mm
Oppervlakte infiltratiesysteem	58,7 m ²
Aangesloten verhard oppervlak	908 m ²
Buffervolume	n.v.t.
Opbouw infiltratiesysteem	Zie figuur 8.1

11.2 Onderzoeksresultaten en kengetallen

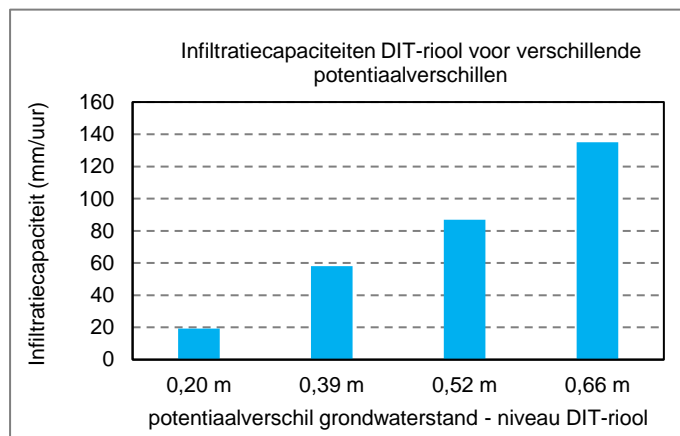
Tabel 11.2 bevat een samenvatting van de onderzoeksresultaten en de daaruit berekende kengetallen. De infiltratiesnelheid hangt af van het potentiaalverschil tussen de grondwaterstand en het niveau in het DIT-riool. Figuur 11.2 toont de gemeten infiltratiesnelheden voor de verschillende potentiaalverschillen.

Tabel 11.2: Onderzoeksresultaten en kengetallen DIT-riool (Abas, 2017).

Datum	Leeftijd jaar	Methode	Infiltratiesnelheid door voorziening mm/uur	Infiltratiecapaciteit van voorziening m ³ /uur/m	Verwerking			
					Bui 8 %	Bui 9 %	Bui 10 %	Rainproof %
13-12-2016	1,7	FSCH	143 ⁽¹⁾	0,135 ⁽¹⁾	43	29	20	15

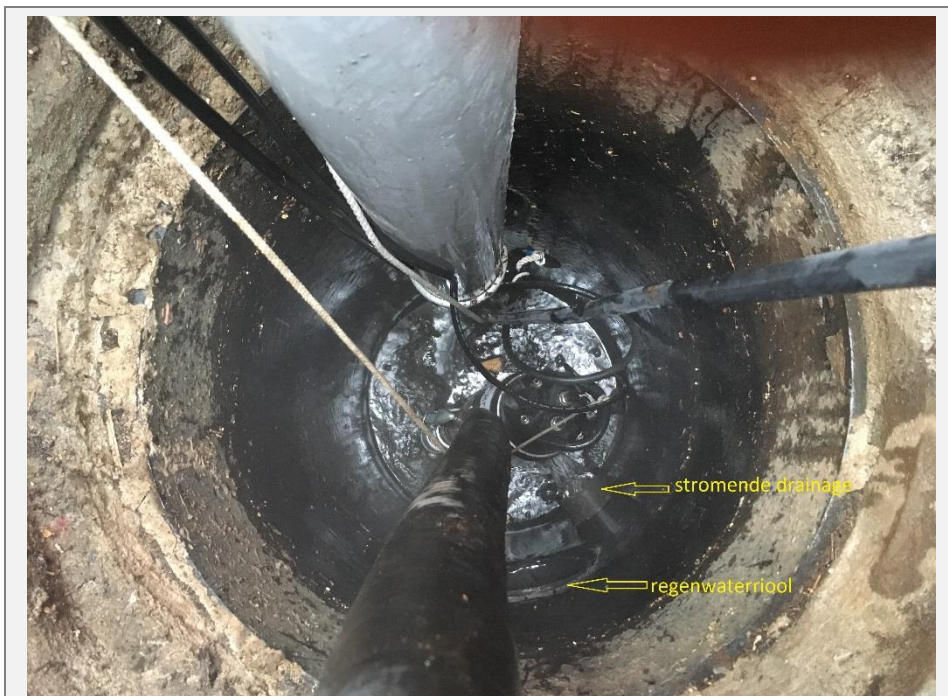
⁽¹⁾ Bij een maximaal potentiaalverschil tussen de grondwaterstand en het niveau in het DIT-riool.

Figuur 11.2: Gemeten infiltratiesnelheden DIT-riool voor verschillende potentiaalverschillen



12 Drainagesysteem Diemen

In Diemen ligt onder de hemelwaterriolering een drainagesysteem van circa 15 jaar oud. De infiltrerende werking van dit drainagesysteem is onderzocht om te bepalen in hoeverre het systeem bijdraagt aan hemelwaterafvoer bij extreme neerslag.

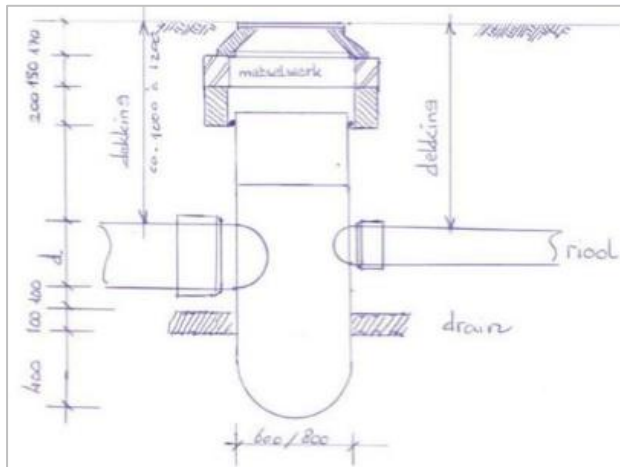


Soort infiltratievoorziening	lineaire ondergrondse infiltratie
Type	drainagesysteem
Locatie	Schoener, Diemen
Omgeving	woonwijk, geen bomen, lage verkeersintensiteit
Bodem	ophoogzand
Grondwater	circa 1 meter onder maaiveld
Realisatiejaar	15 jaar oud (schatting)
Beheer en onderhoud	geen

12.1 Ontwerp infiltratiesysteem

De drainagebuizen liggen onder de hemelwaterriolering en zijn aangesloten op de putten volgens het ontwerp in figuur 12.1.

Figuur 12.1: Ontwerp hemelwaterrioolput met aansluiting drainage



Tabel 12.1: Ontwerpkarakteristieken

Lengte onderzocht infiltratiesysteem	34,3 m
Diameter infiltratiesysteem	100 mm
Aangesloten verhard oppervlak	1224 m ²
Buffervolume	n.v.t.
Opbouw infiltratiesysteem	Zie figuur 9.1

12.2 Onderzoeksresultaten en kengetallen

Tabel 12.2 toont een samenvatting van de onderzoeksresultaten en de daaruit berekende kengetallen.

Tabel 12.2: Onderzoeksresultaten en kengetallen drainagesysteem (El Ayadi & Votel, 2019).

Datum	Leeftijd jaar	Methode	Infiltratiesnelheid door voorziening mm/uur	Infiltratiecapaciteit van voorziening m ³ /uur/m	Verwerking			
					Bui 8 %	Bui 9 %	Bui 10 %	Rainproof %
01-03-2019	15	FSCH	171 ⁽¹⁾	0,054	8	5	3	2

⁽¹⁾ Betreft een gemiddelde van de potentiaalverschillen tussen het waterniveau in de put en de grondwaterstand van 0,8 en 0,9 m.

13 Grindtuin voorplein De Mirandabad

Het plein voor de ingang van het De Mirandabad is begin 2016 opnieuw ingericht, waarbij een infiltratieveld voor de verwerking van regenwater is aangelegd. Deze infiltratievoorziening is vormgegeven als een 'grindtuin' en dient tevens als een speelplaats voor kinderen.



Soort infiltratievoorziening	infiltratieveld
Type	grindtuin
Locatie	De Mirandalaan, Amsterdam
Omgeving	wijk met veel bomen
Bodem	zand
Grondwater	circa 1-1,5 m onder maaiveld
Realisatiejaar	2016
Beheer en onderhoud	vuil (zoals bladeren van bomen) verwijderen uit bak.

13.1 Ontwerp infiltratiesysteem

Een doorsnede van het systeem is in weergegeven in figuur 13.1. Tabel 13.1 geeft enkele ontwerpkenmerken van de voorziening. De infiltratiebak ligt lager dan het maaiveld en is gevuld met grind. Regenwater dat valt op het omringende verharde oppervlak stroomt af naar de grindtuin. Deze werkt als een open berging, waarna het regenwater kan infiltreren naar de bodem.

Tabel 13.1: Ontwerpkenmerken grindtuin voorplein De Mirandabad

Oppervlakte infiltratiesysteem	248 m ²
Aangesloten verhard oppervlak	1650 m ²
Buffervolume	80 m ³
Opbouw infiltratiesysteem	zie figuur 10.1 grindlaag van 15-25 cm scheidingsdoek zand

Figuur 13.1: Doorsnede en opbouw infiltratiesysteem (niet op schaal)



In 2020 is het grind vervangen door zand.

13.2 Onderzoeksresultaten en kengetallen

Tabel 13.2 toont een samenvatting van de onderzoeksresultaten en de daaruit berekende kengetallen. Naast de in februari 2019 uitgevoerde infiltratieproef, is het verloop van het waterniveau in de voorziening gemeten tijdens verschillende regenbuien. Infiltratiesnelheden varieerden hierbij tussen de 10,5 en 34 mm/uur. De grondwaterstand heeft hierop waarschijnlijk de grootste invloed.

Tabel 13.2: Onderzoeksresultaten en kengetallen drainagesysteem (El Ayadi, 2019).

Datum	Leeftijd jaar	Methode	Infiltratiesnelheid door voorziening mm/uur	Infiltratiecapaciteit van voorziening m ³ /uur mm/uur		Verwerking			
						Bui 8 %	Bui 9 %	Bui 10 %	Rainproof %
12-02-2019	2,5	FSFH	6,5 ⁽¹⁾	1,6	0,8	100	100	100	72
Mei-juli 2019	3,0	monitoring	10,5 - 34 ^(1,2)	8,4 ⁽³⁾	4,4 ⁽³⁾	100	100	100	78 ⁽³⁾

⁽¹⁾ Gemiddelde infiltratiesnelheid bij waterniveau boven grindlaag en in de grindlaag.

⁽²⁾ Bepaald op basis van niveaumetingen tijdens neerslaggebeurtenissen. De infiltratiesnelheid neemt sterk af naarmate het waterniveau in de bak hoger staat, mogelijk vanwege de hogere grondwaterstand.

⁽³⁾ Bepaald voor de maximale infiltratiesnelheid.

14 Ondergrondse buffer en infiltratie met steenwol Kruislaan

Onder een tuin van een wooncomplex aan de Kruislaan is in december 2018 een buffer- en infiltratiesysteem aangelegd dat bestaat uit steenwol.



Soort infiltratievoorziening	Ondergrondse buffer en infiltratie
Type	Steenwol
Locatie	Kruislaan, Amsterdam
Omgeving	Bebouwing, laag groen, enkele bomen
Bodem	Ca. 1 m zand, daaronder klei en turf
Grondwater	Ca. 0,7 m onder maaiveld
Realisatiejaar	December 2018
Beheer en onderhoud	-

14.1 Ontwerp infiltratiesysteem

Tabel 14.1 geeft enkele ontwerpkenmerken en de opbouw van de voorziening.

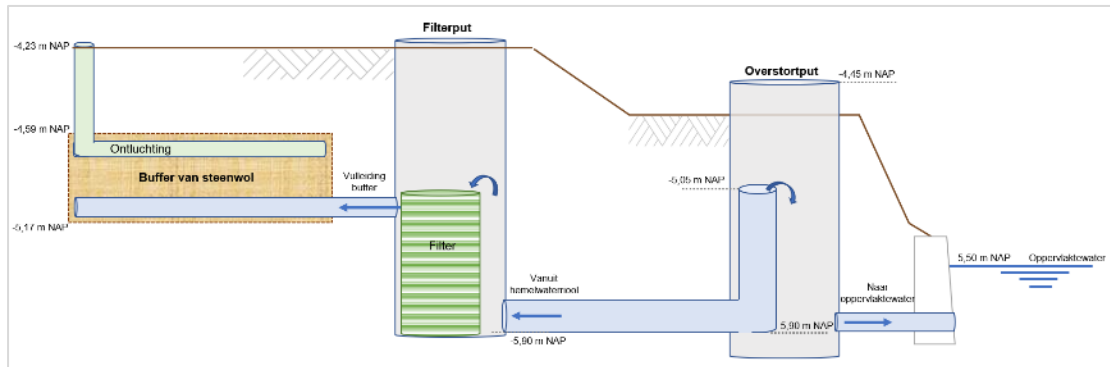
Tabel 14.1: Ontwerpkenmerken

Oppervlakte infiltratiesysteem	310 m ²
Aangesloten verhard oppervlak	2800 m ² (schatting, werkelijke oppervlakte onbekend)
Buffervolume	37 m ³ (effectief beschikbaar)
Opbouw infiltratiesysteem	30 cm houtsnippers, zand (matig fijn) en worteldoek 58 cm buffer van steenwol (93% porositeit) 20 cm zand klei

Figuur 14.1 presenteert een schematische weergave van de voorziening. Het ondergrondse steenwolpakket wordt gevuld vanuit het hemelwaterriool, nadat het

water door een filter (0,045 mm) is geleid. Dit filter moet vervuiling van het systeem tegengaan, maar dit viel buiten de scope van het onderzoek. Het systeem heeft een overstort naar het oppervlaktewater. Ongeveer 46 cm van het steenwolpakket ligt boven het overstortniveau, waardoor ca.18% van de buffercapaciteit effectief gebruikt kan worden.

Figuur 14.1: Doorsnede en opbouw infiltratiesysteem (niet op schaal)



14.2 Onderzoeksresultaten en kengetallen

Tabel 14.2 toont een samenvatting van de onderzoeksresultaten en de daaruit berekende kengetallen. Uit de resultaten blijkt dat de bodemopbouw en grondwaterstand de werking van het systeem sterk beïnvloeden. De grondwaterstand blijkt in de praktijk ruim 0,30 meter hoger dan de ontwerpgrondwaterstand te zijn. De grondwaterstand ligt daardoor een groot deel van de tijd hoger dan de onderkant van het steenwolpakket. Hierdoor voldoet de voorziening niet aan de eis vanuit Rainproof en de Keur dat het systeem binnen 24 uur na een neerslaggebeurtenis leeg moet zijn. Aangezien het grondwater in deze periode leidend is voor het niveau in het buffer- en infiltratiesysteem, kan voor deze situatie geen betrouwbare infiltratiesnelheid worden bepaald.

Voor een periode dat het grondwater enigszins lager (circa 5 cm) dan de onderkant van het steenwolpakket lag, is een infiltratiesnelheid van 1,14 mm/uur en een ledigingstijd van ruim 4 dagen (105 uur) bepaald. Ook in deze periode is het systeem dus niet binnen de vereiste 24 uur leeg. Mogelijk presteert dit type systeem beter op een andere locatie met correcte ontwerpuitgangspunten en uitvoering.

Tabel 14.2: Onderzoeksresultaten en kengetallen (Nijman, 2021).

Datum	Leeftijd	Methode	Infiltratiesnelheid door voorziening	Infiltratiecapaciteit van voorziening		Verwerking			
						Bui 8	Bui 9	Bui 10	Rainproof
	jaar		mm/uur	m ³ /uur	mm/uur	%	%	%	%
2020	1,5	monitoring	1,14 ⁽¹⁾	0,35	0,11	41	40	34	20

⁽¹⁾ Gemeten in een droge periode bij een grondwaterstand circa 5 cm lager dan de onderkant van het steenwolpakket.

15 Ondergrondse buffer en infiltratie met steenwol Tuindorp Oostzaan

In de wijk Tuindorp Oostzaan is in 2021 onder een (speel)grasveld een buffer- en infiltratiesysteem aangelegd dat bestaat uit steenwol.



Soort infiltratievoorziening	Ondergrondse buffer en infiltratie
Type	Steenwol
Locatie	Abrikozenstraat, Amsterdam
Omgeving	Woonwijk
Bodem	ca. 1,5 m zand, daaronder klei
Grondwater	0,5 – 1,0 m onder maaiveld
Realisatiejaar	2021
Beheer en onderhoud	-

15.1 Ontwerp infiltratiesysteem

De buffer- en infiltratievoorziening wordt tijdens neerslag gevoed vanuit meerdere kolken die afstromend water vanaf het wegdek verzamelen. In de aansluitleiding van kolk naar hemelwaterriool zit een verbinding met de voorziening. Tabel 15.1 geeft enkele ontwerpkenmerken en de opbouw van het systeem.

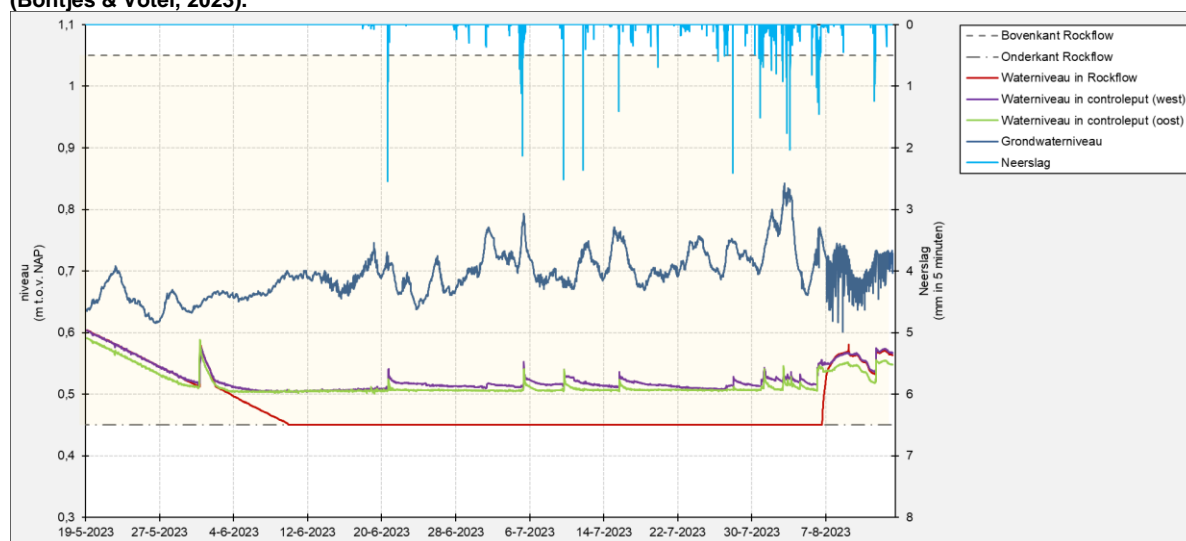
Tabel 15.1: Ontwerpkenmerken

Oppervlakte infiltratiesysteem	300 m ³
Aangesloten verhard oppervlak	onbekend
Buffervolume	185 m ³
Opbouw infiltratiesysteem	66 cm buffer van steenwol (93% porositeit)

15.2 Onderzoeksresultaten en waterbalans

Het systeem is langere periode gemonitord. Daarnaast is in november 2022 een full-scale infiltratietest uitgevoerd. Op basis van de monitoringsdata kan worden geconcludeerd dat de grondwaterstand een groot deel van het jaar in het steenwolpakket ligt (figuur 15.1). Dit wijkt af van het ontwerpuitgangspunt dat het steenwolpakket minimaal 0,05 m boven de grondwaterstand zou worden aangebracht.

Figuur 15.1: Monitoringsdata grondwaterstand en waterniveau in steenwolpakket (Bontjes & Votel, 2023).



Figuur 15.1 laat zien dat in een droge periode (mei/juni 2023) het waterniveau in het steenwolpakket en in de controleputten (aanvoerende leidingen) daalt. De stijging op 31 mei bij droog weer is opvallend en niet te verklaren. Het steenwolpakket is vervolgens leeg, terwijl er wel regenbuien zijn. De controleputten laten een geringe reactie op neerslag zien. Het grondwaterniveau direct naast het steenwolpakket ligt op een hoger niveau dan het waterniveau in het pakket zelf. Dit is opmerkelijk en niet te verklaren zonder detailonderzoek.

Vanaf 6 augustus stijgt het niveau in het steenwolpakket ca. 10 cm. Het grondwaterniveau fluctueert daarbij sterk. Mogelijk was hier een bemaling actief. De metingen (hoge grondwaterstand en lage waterstand in het steenwolpakket) zijn handmatig gevalideerd op 9 augustus. De valkolken die het Rockflowsysteem voeden bleken tijdens dat bezoek sterk vervuild met straat- en bladvuil. Het dichtslibben van de valkolken hindert de toevoer van regenwater naar het buffer- en infiltratiesysteem (Bontjes & Votel, 2023).

16 Verdampings- en infiltratiekratten Kattenburgerstraat

In 2020 is in de Kattenburgerstraat een systeem aangelegd om hemelwater te bufferen, verdampen, infiltreren en af te voeren.



aanleg krattenveld

Soort infiltratievoorziening	Verdampings- en infiltratiekrattensysteem
Type	Verdampings- en infiltratiekrattensysteem
Locatie	Kattenburgerstraat, Amsterdam
Omgeving	Bebouwing, bomen, verkeersroute
Grondwater	1,5 – 2,0 meter onder maaiveld
Realisatiejaar	2020
Beheer en onderhoud	-

16.1 Ontwerp infiltratiesysteem

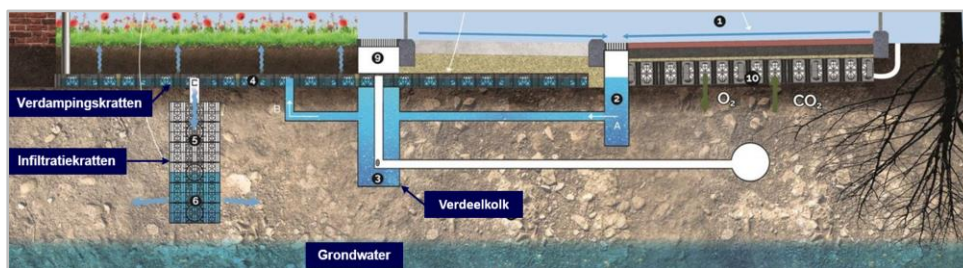
Afstromend hemelwater van het voet- en fietspad wordt via kolken ingezameld en komt terecht in een verdeelkolk. In deze put bevindt zich een buis met een gaatje waardoor de zogenaamde 'first flush' direct naar het hemelwaterriool wordt afgevoerd. Bij hogere neerslagintensiteiten moet het waterniveau in de verdeelkolk stijgen, zodat het water richting de verdampingskratten kan stromen. Daarnaast stroomt hemelwater vanaf het dak van het naastgelegen gebouw direct in de verdampingskratten. Het krattenveld is zo ontworpen dat de bovenliggende beplanting in droge periodes vocht kan onttrekken. Wanneer de verdampingskratten bijna zijn gevuld, stort het water over naar infiltratiekratten. De infiltratiekratten geven het water af aan de bodem door middel van infiltratie. Tabel 16.1 geeft enkele ontwerpkenmerken en de opbouw van de voorziening.

Tabel 16.1: Ontwerpkarakteristieken zuidelijk proefvak Kattenburgerstraat

Oppervlakte verdampingskrattenveld	306 m ²
Oppervlakte infiltratiekrattenveld	30 m ²
Aangesloten verhard oppervlak	164 m ² (dak) + 123,2 m ² (voet- en fietspad)
Buffervolume verdampingskratten	22,7 m ³
Buffervolume infiltratiekratten	33 m ³
Opbouw systeem	ca. 30 cm grond verdampingskratten (85 mm) infiltratiekratten (3x 400 mm)

Figuur 16.1 presenteert een schematische weergave van de voorziening.

Figuur 16.1: Doorsnede en opbouw infiltratiesysteem (niet op schaal). bewerking op “Dwarsdoorsnede van het project in de Kattenburgerstraat”, Permavoid, 2020 (<https://www.marineterein.nl/news/met-regenwater-stadshitte-tegengaan>).



16.2 Onderzoeksresultaten en waterbalans

Het systeem is vanaf december 2020 intensief gemonitord. Hieruit is gebleken dat het waterniveau in de verdeelklok ruim (ca. 40 cm) onder het vulniveau van de verdampingskratten blijft. Dit betekent dat al het in de verdeelkolk verzamelde hemelwater is afgevoerd via de riolering en de verdampingskratten niet gevuld zijn met water vanuit de verdeelkolk. De aansluiting met het dakoppervlak zorgt wel dat de verdampingskratten worden gevuld. Deze waarnemingen zijn middels een veldproef gevalideerd. De verdeelkolk wordt in dit ontwerp verkeerd toegepast, waardoor het waterniveau tijdens neerslaggebeurtenissen niet het vulniveau van de verdampingskratten bereikt.

In de tweede fase van het onderzoek, van 4 maart tot 28 oktober 2022, is alleen het proefvak dat gevuld wordt met dakwater onderzocht. Op basis van monitoring is gebleken een volledig gevuld verdampingskrattenveld (85 mm) binnen 19 dagen leeg is. Bij een vulling van 50 mm is dat binnen 11 dagen en bij een vulling van 30 mm is dat binnen 6,5 dag. Deze situaties zijn in de meetperiode respectievelijk 4%, 73% en 40% van de tijd voorgekomen. Gemiddeld waren de verdampingskratten binnen 10 dagen leeg.

Daarnaast is in deze periode tijdens 4 neerslaggebeurtenissen het overstortniveau naar de infiltratiekratten bereikt. Dit heeft niet geleid tot een verhoging van het waterniveau in de infiltratievoorziening. Het grondwaterniveau is ook frequent hoger dan de onderkant van de infiltratiekratten, hetgeen een negatief effect heeft op het werkelijk beschikbare buffervolume.

17 Ondergrondse buffer en infiltratie met prefab betonnen elementen

Begin 2022 is in de Zuidas een ondergrondse buffer- en infiltratiesysteem opgeleverd bestaande uit prefab betonnen elementen.



Soort infiltratievoorziening	Ondergrondse buffer en infiltratie
Type	Prefab betonnen elementen
Locatie	Beethovenstraat, Amsterdam
Omgeving	Stedelijk
Grondwater	< 1 meter onder maaiveld
Realisatiejaar	2022
Beheer en onderhoud	-

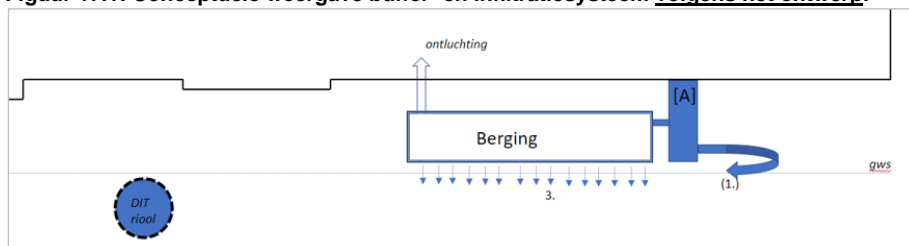
17.1 Ontwerp infiltratiesysteem

Regenwater wordt via 7 geschakelde kolken afgevoerd naar een verzamelput waarin het water wordt verdeeld over het DIT-riool en het buffer- en infiltratiesysteem op basis van de neerslagintensiteit. Volgens het ontwerp zou de eerste 20 mm/uur neerslag worden afgevoerd naar het DIT-riool. Neerslag tussen de 20 mm/uur en 60 mm/uur zou vervolgens worden geleid naar het buffer- en infiltratiesysteem. De ontwerpkenmerken van dit systeem zijn in tabel 17.1 samengevat. De betonnen elementen bevatten openingen waardoor het water naar de bodem kan infiltreren. Neerslag vanaf 60 mm/uur wordt weer via het DIT-riool afgevoerd. Figuur 17.1 geeft een schematische weergave van de voorziening.

Tabel 17.1: Ontwerpkenmerken

Oppervlakte voorziening	73 m ²
Buffervolume voorziening	19,7 m ³
Aangesloten verhard oppervlak	405 m ²
Opbouw systeem	Straatlaag 15 cm Prefab betonnen elementen 45 cm Menggranulaat 25 cm

Figuur 17.1: Conceptuele weergave buffer- en infiltratiesysteem volgens het ontwerp.



1: Hemelwater wordt via kolken verzameld in de verdeelkolk [A]. Deze kolk is aangesloten op het DIT-riool en de berging.

2: Bij neerslag stijgt het waterniveau in de verdeelkolk en voert water af naar het DIT-riool. Bij een intensiteit tussen de 20 en 60 mm/uur wordt de berging gevuld.

3: Water in de berging kan infiltreren.

17.2 Onderzoeksresultaten

Het systeem is na oplevering gemonitord. Op basis van de meetgegevens blijkt dat geen water in de voorziening stroomt. De oorzaak is dat de verdeelkolk niet volgens het ontwerp is gerealiseerd. Hierdoor vindt de verdeling op basis van neerslagintensiteit niet plaats en wordt al het regenwater via het DIT-riool afgevoerd. De beheerder bekijkt of het systeem kan worden aangepast: alsnog de verdeelkolk conform ontwerp uitvoeren of al het regenwater via het buffer- en infiltratiesysteem verwerken.

Op 18 oktober 2022 is een full-scale infiltratieproef gedaan om de infiltratiesnelheid van het buffer- en infiltratiesysteem te bepalen. Tabel 17.2 toont hiervan de resultaten. De leeglooptijd bedraagt 54 uur.

Tabel 17.2: Onderzoeksresultaten en kengetallen.

Datum	Leeftijd jaar	Methode	Infiltratiesnelheid door voorziening mm/uur	Infiltratiecapaciteit van voorziening		Verwerking ⁽²⁾			
				m ³ /uur	mm/uur	Bui 8 %	Bui 9 %	Bui 10 %	Rainproof %
18-10-2022	0,8	FSFH	6,5	0,36 ⁽¹⁾	0,90	100	100	100	83

⁽¹⁾ Berekend op basis van de leeglooptijd.

⁽²⁾ Berekend voor de situatie dat de aansluiting met het DIT-riool is afgesloten en alles door de buffer- en infiltratievoorziening wordt verwerkt.

18 Verwijzingen

- Abbas, I. (2017). *Onderzoek naar een nieuw infiltratiesysteem in de Argonautenstraat, Amsterdam-Zuid*. Rapport stagiair TU Delft.
- Boerma, E. & Boogaard, F.C. (2012). *Test waterpasserende verharding 'Drainvast'*. Kenmerk R001-1210916EBM-lyv-V01-NL.
- Bontjes, E. & Votel, M. (2023). *Resultaten Rockflow Tuindorp-Oostzaan*. Interne notitie.
- Boogaard, F.C. & Lucke, T. (2019). *Long-Term Infiltration Performance Evaluation of Dutch Permeable Pavements Using the Full-Scale Infiltration Method*. Water 2019, 11, 320; doi:10.3390/w11020320.
- El Ayadi, N. (2018). *Wadi Harkstraat*. Interne rapportage nr. 18.046560.
- El Ayadi, N. & Nijman, M. (2019). *Drainvoeg Julianastraat Egmond aan Zee, infiltratiesnelheidsproef*. Interne rapportage nr. 19.022195.
- El Ayadi, N. & Votel, M. (2019). *Infiltratie- en drainagecapaciteit van een drainagesysteem in Diemen*. Interne rapportage nr. 19.025428.
- El Ayadi, N. & Votel, M. (2019). *Onderzoek stedelijke wadi Zuidelijke Wandelweg*. Interne rapportage.
- El Ayadi, N. (2019). *Infiltratiecapaciteit grindtuin*. Interne rapportage nr. 19.043116.
- Van der Kooy, J. (2023). *Onderzoek conventionele wegverharding Waverstraat: resultaten infiltratieproef 2023*. Interne rapportage.
- Nijman, M. (2021). *Rockflow Kruislaan*. Werking en functioneren van een hemelwater bufferend en infiltrerende asset. Interne rapportage nr. 21.009934.
- Nijman, M. (2022). *KA-Assets Kattenburgerstraat – functioneren in de praktijk*. Interne rapportage nr. 22.018102.
- Stichting Rioned (2014). *Neerslaggebeurtenissen*. Geraadpleegd van <https://www.riool.net/neerslaggebeurtenissen-1> op 25 juni 2019.
- Votel, M. (2019). *Wadi Harkstaat: bepaling infiltratiesnelheid 2019*. Interne memo.
- Votel, M. & El Ayadi, N. (2020). *Onderzoek wadi Harkstaat: resultaten infiltratieproef december 2019*. Interne memo.
- Votel, M., El Ayadi, N. & Nijman, M. (2021). *Waterbalans Kattenburgerstraat: tussenresultaten na half jaar monitoren*. Interne rapportage nr. 21.019181.
- Votel, M. (2021). *Samenvatting resultaten infiltratieproef Kromme Mijdrechtstraat*. Interne memo.