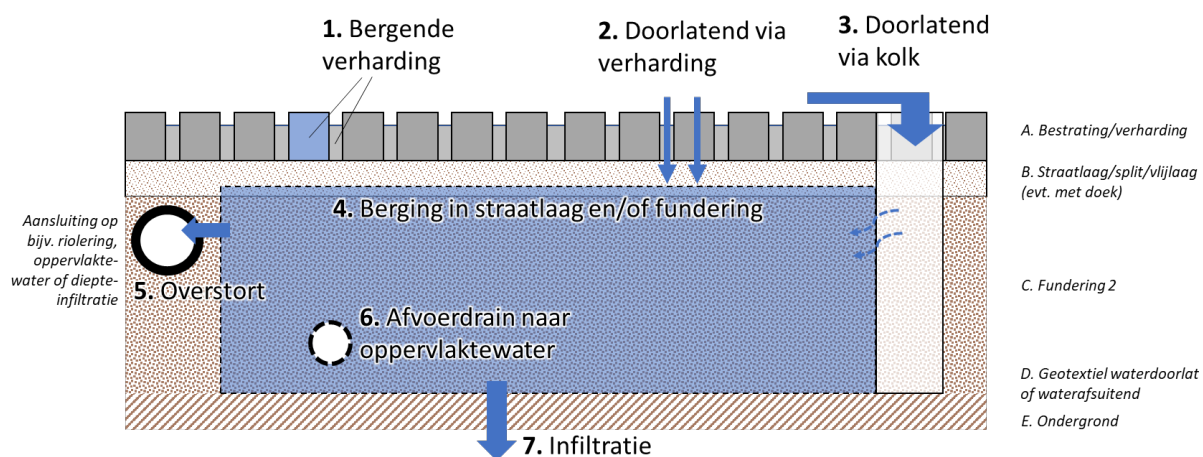


RAAK MKB PROJECT DE INFILTRERENDE STAD"

WERKPAKKET 1: SYSTEEMANALYSE



9 juli 2020
Definitieve rapportage

<i>Naam auteur(s)</i>	Dr. ir. Anne Leskens en ir. Jonathan Lekkerkerk (Hogeschool Rotterdam)
<i>Reviewers:</i>	Dr. ir. Jeroen Kluck, Dr. Ted Veldkamp (Hogeschool van Amsterdam) en Dr. ir. Floris Boogaard (Hanzehogeschool Groningen)
<i>Eindredacteur</i>	Dr. ir. Rutger de Graaf-van Dinther (Hogeschool Rotterdam)
<i>Datum</i>	9 juli 2020
<i>Status</i>	Definitieve rapportage
<i>Verspreiding</i>	Openbaar, na goedkeuring Consortium

INHOUDSOPGAVE

1.	Inleiding	5
1.1.	RAAK MKB Onderzoek De Infiltrerende Stad	5
1.2.	Werkpakket 1: Systeemanalyse	5
2.	Overzicht producten en innovaties	7
2.1.	Principes voor doorlatende en bergende verhardingen	7
2.2.	Onderzochte systemen	8
3.	Voordelen infiltrerende verharding op basis van model	21
3.1.	Inleiding	21
3.2.	Conceptueel model	21
3.3.	Voorbeeldberekeningen van drie standaard systemen	23
3.4.	Resultaten berekeningen bij voorbeeldsystemen	24
4.	Kennisoverzicht meetmethoden (praktijk)proeven aan doorlatend vermogen van verharding	25
4.1.	Inleiding	25
4.2.	Meettechnieken voor onderzoek naar functioneren van infiltrerende verharding	25
4.3.	Aanpak opstellen kennisoverzicht meetmethodiek	28
4.4.	Overzicht metingen infiltratiecapaciteit	28
4.5.	Conclusies praktijkmetingen en meettechnieken	29
5.	Overzicht huidige beheer en onderhoud	31
5.1.	Inleiding	31
5.2.	Soorten vervuiling	31
5.3.	Onderhoudsmethoden waterdoorlatende verharding	31
5.4.	Onderhoudsmethodes ondergrondse berging	33
6.	Huidige ontwerpisen	35
6.1.	Inleiding	35
6.2.	Eisen aan infiltrerend, bergend en zuiverend functioneren	35
6.3.	Standaardeisen opbouw en profiel weg	35
6.4.	Eisen groenzones	36
6.5.	Eisen ten aanzien van locatiekeuze	36
6.6.	Eisen bij werkzaamheden	37
6.7.	Eisen ten aanzien van burgermaatregelen	38
7.	Referenties	39
Bijlage 1: Factoren van invloed infiltratiesnelheid onverzadigde bodem (Gray & Norum, 1967)		41
Bijlage 2 Overzicht factoren die de werking van doorlatende verharding bepalen (omgeving & systeemeigen)		43
Bijlage 3: Meetprotocol Infiltratieproeven Full-scale testmethode		45
Bijlage 4: Full-scale testmethode algemene beschrijving testopzet		47
Bijlage 5: Rioned ontwerp buien (Stichting Rioned, 2020)		50
Bijlage 6: Aanzet lesmateriaal theoretische achtergronden infiltratie		51

1. Inleiding

1.1. RAAK MKB Onderzoek De Infiltrerende Stad

Klimaatverandering en veranderend landgebruik zetten het leefklimaat en het watersysteem in de stad steeds meer onder druk (VNG, 2016). Als gevolg van het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie, moeten alle gemeenten vanaf 2020 bij herinrichting rekening houden met de klimaatveranderingen en de stad klimaatbestendig inrichten. Eén van de manieren om klimaatbestendiger te worden is er voor te zorgen dat meer regenwater in de bodem infiltreert en daarmee minder snel of niet wordt afgevoerd via het rioolstelsel. Dit beperkt problemen met wateroverlast, hitte en verdroging en zorgt tegelijkertijd voor aanvulling van grondwater.

Door de opkomst van doorlatende verharding heeft de afgelopen tien jaar een groot aantal MKB ondernemingen zich toegelegd op het aanbieden van infiltrerende verhardingen. Vanwege problemen met de afname van infiltratiecapaciteit en onduidelijkheid over het beheer en onderhoud zakt de markt momenteel in. MKBs zijn bezig met innovaties van hun infiltrerende verhardingen en het beheer en onderhoud ervan. Voor deze innovaties is inzicht nodig in het huidige functioneren en in het benodigd beheer van infiltrerende verharding op lange en korte termijn om de effectiviteit van hun op lange termijn te waarborgen.

Het project biedt een praktijkgerichte leeromgeving voor meerdere opleidingen van drie betrokken Hogescholen. Daardoor wordt de samenwerking tussen verschillende lectoraten geïntensiveerd door complementair kennisvragen aan elkaar te koppelen en cross-overs te creëren tussen de verschillende curricula van relevante opleidingen binnen de hogescholen.

Het project heeft een onderzoeksapproach waarbij het functioneren van infiltrerende verhardingen onder ideale omstandigheden (gebaseerd op lab data, literatuur en leveranciersdata) en praktijksituaties (full scale testen) met elkaar worden vergeleken. Dit levert inzicht op voor innovaties aan de producten en beheer en onderhoud. De nieuwe en ook recente innovaties worden onder semi ideale omstandigheden (in Proeftuin Waterstraat, Green Village van TU Delft) onderzocht.

1.2. Werkpakket 1: Systeemanalyse

De centrale onderzoeksvraag in het onderzoeksproject Infiltrerende Stad luidt: “Hoe kunnen MKB ondernemingen met innovaties het vertrouwen van de markt zodanig versterken dat de markt (weer) kiest voor meer toepassing van infiltrerende verhardingen?”. De eerste stap (werkpakket 1) in dit onderzoek is om een overzicht te krijgen van de ‘state-of-the-art’ van infiltrerende verharding. Hieronder wordt in dit project verstaan: waterdoorlatende, waterpasserende en doorgroeibare verharding. In dit rapport wordt deze state-of-the-art beschreven. Hierbij gaat het om:

- *Overzicht producten en innovaties (zie hoofdstuk 2):* Er zijn allerlei verschillende typen infiltrerende of bergende verharding ontwikkeld en in ontwikkeling. Leveranciers (MKB) beloven op diverse manieren een zeker functioneren. Er is een duidelijk overzicht nodig waarmee het mogelijk wordt de verschillende producten en systemen te categoriseren en te vergelijken.
- *Theoretische baten (zie hoofdstuk 3):* Op basis van bovengenoemd overzicht van de verschillende producten en innovaties en hun theoretische werking is een overzicht nodig wat de voordelen/baten zijn van infiltrerende en bergende verharding bij verschillende neerslagsituaties. Deze modelmatige inschatting wordt in dit onderzoek aangevuld door metingen in het laboratorium en de praktijk.

- ▶ *Reeds uitgevoerde proeven en gebruikte meetmethodes (zie hoofdstuk 4):* Er worden de laatste jaren steeds vaker proeven uitgevoerd om de werking van de infiltrerende verhardingen te onderzoeken. Deze zijn pas deels verzameld. Er is dus een up-to-date overzicht nodig van gedane metingen welke in de rest van het onderzoek uitgebreid kan worden. Vanuit deze uitgevoerde proeven dient ook duidelijk te worden welke meetmethodes bruikbaar zijn voor de rest van het onderzoek.
- ▶ *Huidige vormen van beheer- en onderhoud (zie hoofdstuk 5):* De verwachting is dat de werking van doorlatende en bergende verharding sterk samenhangt met het beheer en onderhoud. Er zijn diverse methodes in omloop hoe gemeenten hun doorlatende en bergende verhardingen onderhouden. Hiervan dient een overzicht te komen welke in een later stadium van het onderzoek richting kan geven aan productinnovaties en adviezen met betrekking tot beheer- en onderhoudsmethodes.
- ▶ *Ontwerpnormen (zie hoofdstuk 6):* De eisen van de gemeenten ten aanzien van het functioneren van doorlatende en bergende verhardingen zijn in ontwikkeling. Ook hier is een overzicht nodig zodat duidelijk wordt welke doorlatende en bergende verharding voldoen aan de (toekomstige) eisen van de gemeenten. Dit overzicht geeft ook richting aan productinnovaties en adviezen met betrekking tot methodes voor beheer en onderhoud.

2. Overzicht producten en innovaties

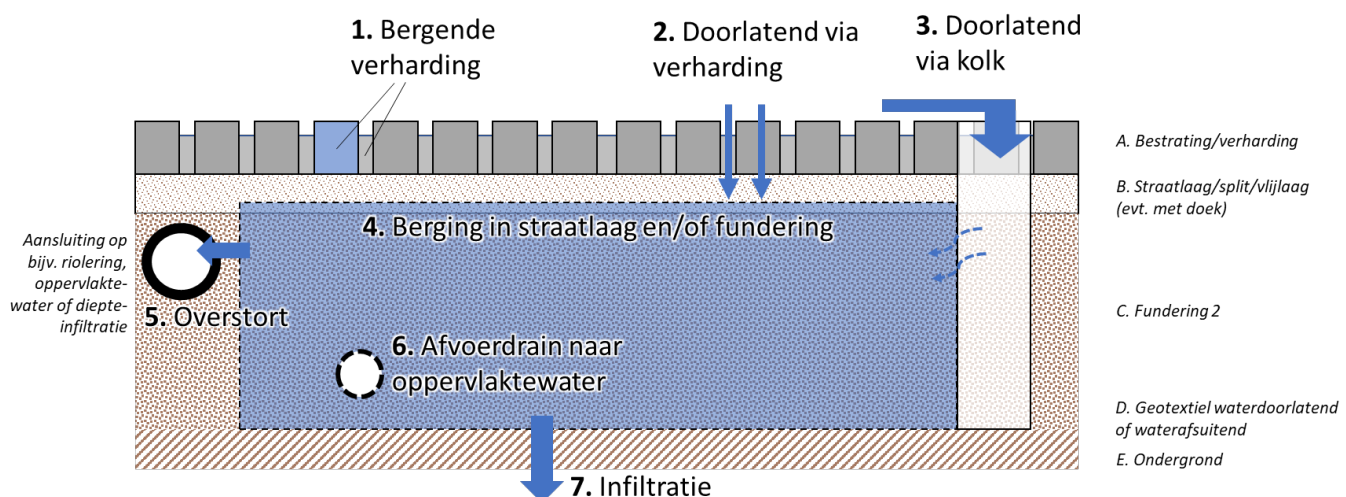
2.1. Principes voor doorlatende en bergende verhardingen

Doorlatende en bergende verharding hebben vaak de volgende functies:

- *Regenwater infiltreert in de laag onder de straat (straatlaag, fundering of speciale bergingsvoorzieningen).* Voorbeelden: doorlatende stenen of voegen of kolken die het water naar ondergrondse berging brengen.
- *Regenwater wordt geborgen:* Voorbeelden: berging in stenen of voegen, ondergrondse berging, lege holtes of poreuze grond of schelpenzand.
- *De berging wordt geleegd zodat de berging weer beschikbaar komt voor een volgende regenbui.* Voorbeelden: leging via natuurlijke infiltratie naar de onderliggende grondlaag, leging via een afvoerdrain of leging via een overstort. Op overstortputten kunnen vervolgens weer andere afvoersystemen zijn aangesloten, zoals diepte-infiltratie, riolering of oppervlaktewater.

Doorlatende en bergende verhardingen komen voor in veel varianten. Op basis van onderzoek naar systemen die momenteel op de markt zijn kunnen onderstaande bergende of doorlatende principes worden onderscheiden. De genummerde principes worden in de rest van het onderzoek gebruikt. In Figuur 2-1 zijn deze schematisch weergegeven:

1. *Bergende verharding:* berging van water in (poreuze) stenen of voegen;
2. *Doorlatende verharding:* een versnelde doorlaat van water door de voegen, poreuze stenen of andere doorgangen in de bestrating of verhardingslaag;
3. *Doorlaat via kolk:* water wordt versneld naar ondergrondse berging geleid via kolken of andere afvoervoorzieningen;
4. *Berging in straatlaag of fundering:* berging van water in de straatlaag of fundering door bijvoorbeeld poreuze grond, schelpen, stenen of holtes;
5. *Overstort:* vanaf een bepaalde vulling van het bergingssysteem vindt overstort plaats. Hier kunnen verschillende afvoersystemen op aangesloten zijn, zoals riolering, oppervlaktewater of diepte-infiltratie
6. *Afvoerdrain:* horizontale drainage om het bergingssysteem te legen, bijvoorbeeld richting oppervlaktewater of grondwater middels diepte-infiltratie;
7. *Infiltratie:* leging van berging via normale infiltratie naar de onderliggende grondlaag.



Figuur 2-1: Schematisatie van verschillende principes voor doorlatende en bergende verhardingen

2.2. Onderzochte systemen

Een waterdoorlatende en/of bergende straat bestaat vaak uit een combinatie van bovengenoemde waterdoorlatende of bergende principes. Er is voor gekozen om steeds te kijken naar veelvoorkomende combinaties van deze waterdoorlatende en bergende principes. Hiermee wordt de praktijk situatie als uitgangspunt genomen.

In dit onderzoek is gekeken naar de waterdoorlatende en/of bergende straatsystemen van de aangesloten MKB'ers bij dit onderzoek. Op basis van het overzicht dat is gemaakt op de Masterclass Marktverkenning, gehouden op 12 november 2019, zijn onderstaande systemen onderzocht:

- a. Aquaflow regular (bergend of overstortend), met kolk en Archimedes
- b. Bufferblock met waterpasserende stenen of kolk
- c. EWB Urban rainshell
- d. Tilesystem
- e. Drainvast (Drainvoeg en Drainstop)

Per systeem is een korte beschrijving gegeven en wordt een overzicht gegeven van de volgende theoretische eigenschappen op basis van de inschatting van de fabrikanten zelf:

- Werkende principes: Hierbij wordt uitgegaan van de werkende principes die zijn weergegeven in Figuur 2-1.
- Infiltratiesnelheid (mm/uur): Dit is hoeveelheid water die per uur aan het oppervlak infiltreert. Aangezien hier wordt uitgegaan van de fabriekswaarden is dit de waarde die net na aanleg van het systeem verwacht mag worden. Deze waarde is alleen aangegeven bij systemen die een doorlatende verharding hebben. Bij een kolk wordt er van uit gegaan dat deze waarde zeer groot is.
- Bergingscapaciteit (mm): Dit is de hoeveelheid water die in het systeem geborgen kan worden.
- Kosten aanleg van het systeem (EUR): Hierbij worden zoveel mogelijk eenheidsprijzen gehanteerd, bijvoorbeeld per meter.
- Jaarlijkse kosten voor aanvullend beheer en onderhoud (EUR). Hiermee worden de gemiddelde aanvullende jaarlijkse kosten bedoeld ten opzichte van de aanleg van een weg zonder bergende of infiltrerende verharding. Dit kan dus een combinatie zijn van regulier onderhoud en groot onderhoud.
- Bijzondere eigenschappen. Bijvoorbeeld zuiverende eigenschappen, de mogelijkheid voor toepassing in slappe bodems of toepassing van circulaire, vernieuwbare en CO₂ bindende materialen.

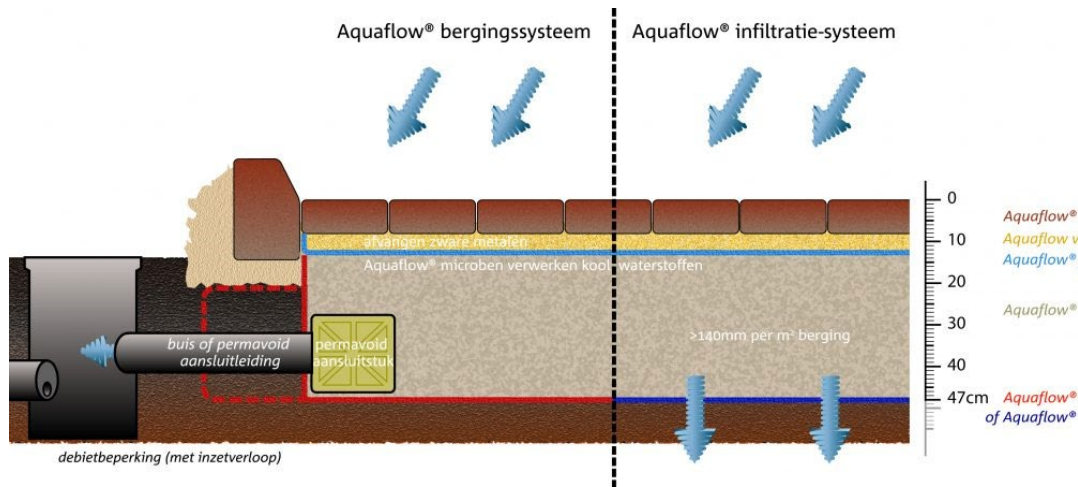
2.2.1. Aquaflow

Aquaflow kan uitgevoerd worden in een aantal basisvarianten met elk zijn specifieke toepassingsgebied. Daarbij wordt rekening gehouden met de wens om het hemelwater te zuiveren, met de verkeersbelasting, draagkracht van de ondergrond en de gewenste prijs-kwaliteit verhouding van het systeem.

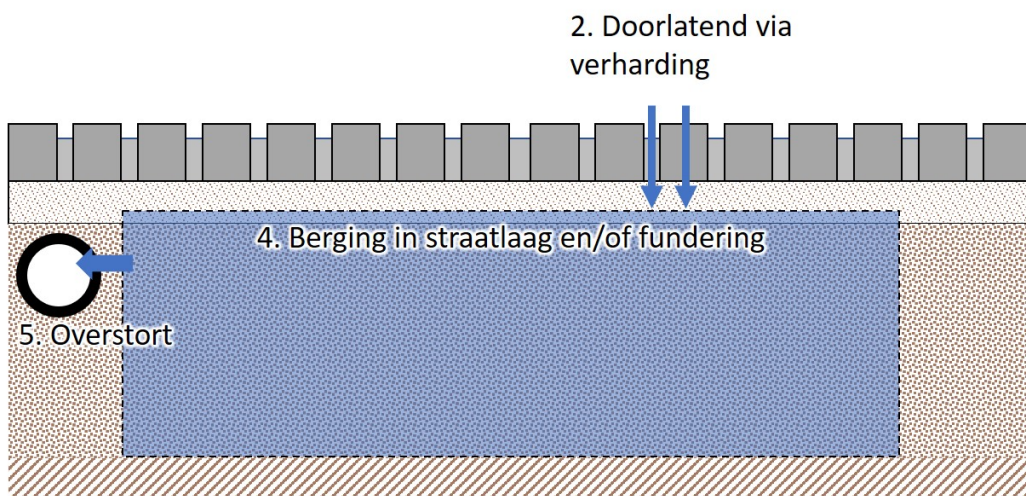
Het Aquaflow regular systeem komt voor in twee varianten:

1. Bergingssysteem: Hierbij komt het water via doorlatende verharding, een vlijlaag en een filterdoek in een bergende fundering die aan de onderkant is afgesloten met een waterdichte folie (zie Figuur 2-3). Daarbij wordt gebruik gemaakt van Permavoid aansluitstukken. Een permavoid aansluitstuk wordt gebruikt om een steenslag fundering te verbinden met een buis, bijvoorbeeld voor een huisaansluiting of een aansluiting op een put. Deze permavoid aansluitstukken worden ook gebruikt om kolken aan te sluiten. Het wordt dan WT bezinkunit genoemd (WT = water treatment). Zie ter illustratie Figuur 2-5.

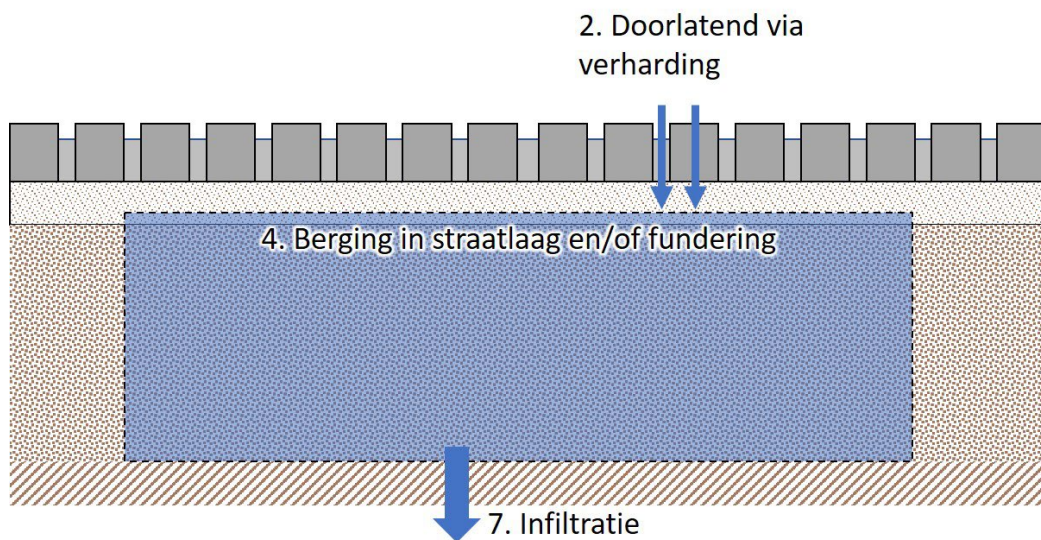
2. Infiltratiesysteem: Hierbij komt het water via doorlatende verharding, een vlijlaag en een filterdoek in een bergende fundering. Een waterdoorlatend scheidingsdoek aan de onderkant van het systeem zorgt voor infiltratie naar de onderliggende grondlaag (zie Figuur 2-4)



Figuur 2-2: Aquaflow regular overzichtstekening van fabrikant



Figuur 2-3: Schematisatie Aquaflow regular als bergingssysteem met overstort



Figuur 2-4: Schematisatie Aquaflow regular als infiltrerend system

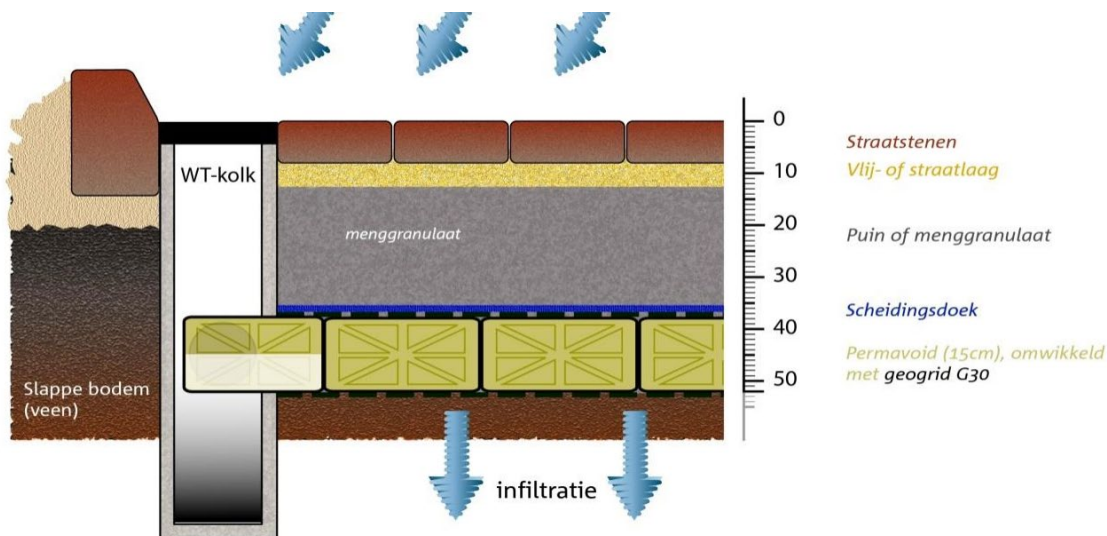


Figuur 2-5: Bergend systeem (folie onderin het cunet) met hulpstukken voor het aansluiten van kolken en daken

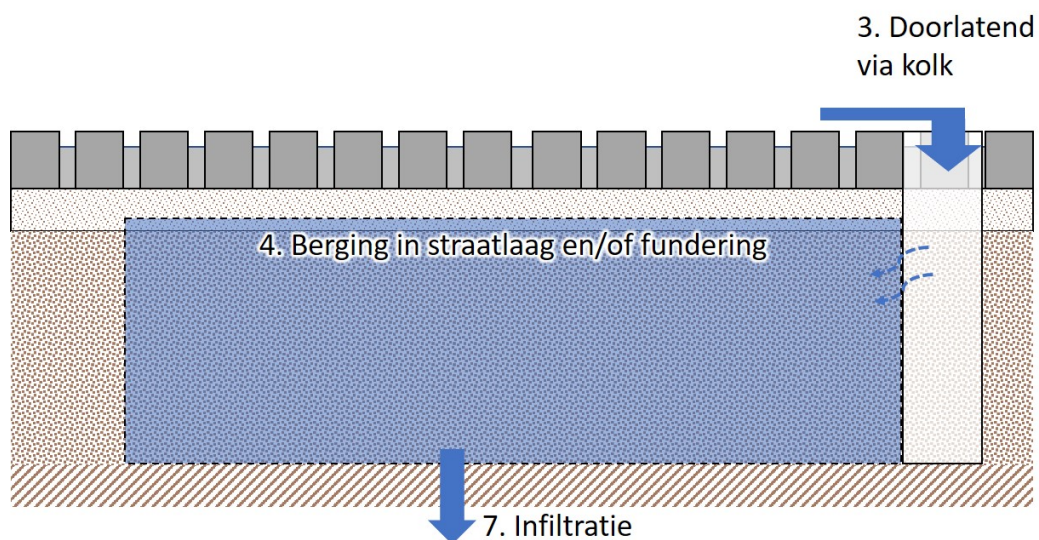
Tabel 2-1: Kenmerken Aquaflow regular

Kenmerk	Fabriekswaarde	Bron
Werkende principes	- Doorlatend via verharding [2] of kolk [3] - Berging in fundering [4] - Leging via infiltratie [7]	Overzichtstekening fabrikant
Infiltratiesnelheid		
Bergingscapaciteit	140 mm of meer	Folder 'Aquaflow, basisuitvoeringen' (www.aquaflow.nl)
Kosten aanleg van het systeem (EUR)	EUR. 140,- per m3 berging meerkosten	Folder 'Aquaflow® & andere bergingsvoorzieningen' (2016). (www.aquaflow.nl)
Jaarlijkse kosten voor beheer en onderhoud (EUR)		
Bijzondere kenmerken		

'Aquaflow regular met kolk' lijkt sterk op 'Aquaflow regular als infiltrerend systeem'. Het water wordt hierbij via een kolk in de ondergrondse berging gebracht in plaats van via een waterdoorlatende verharding (zie Figuur 2-7). Een variant op de Aquaflow regular met kolk is het systeem Aquaflow Archimes systeem. Dit systeem is speciaal ontwikkeld voor slappe bodems (bijvoorbeeld veen). De ondergrondse berging bestaat uit Permavoid kratten. De fabriekswaarde van de berging is gelijk aan Aquaflow regular met kolk.



Figuur 2-6: Aquaflow regular met kolk overzichtstekening van fabrikant



Figuur 2-7: Schematisatie Aquaflow regular met kolk

Tabel 2-2: Kenmerken Aquaflow regular met kolk en Archimedes

Kenmerk	Fabriekswaarde	Bron
Werkende principes	- Doorlatend via kolk - Berging in fundering - Leging via infiltratie	Overzichtstekening fabrikant (zie Figuur 2-6)
Infiltratiesnelheid		
Bergingscapaciteit	140 mm	Folder 'Aquaflow, basisuitvoeringen' (www.aquaflow.nl)
Kosten aanleg van het systeem (EUR)	EUR. 140,- per m3 berging meerkosten	Folder 'Aquaflow® & andere bergingsvoorzieningen' (2016). (www.aquaflow.nl)
Jaarlijkse kosten voor beheer en onderhoud (EUR)		
Bijzondere kenmerken	- Kolk heeft een Water Treatment (WT) systeem dat door bezinking het water zuivert - Het Archimedes systeem is toepasbaar op slappe bodems. Hierbij wordt gebruik gemaakt van Permavoid kratten	

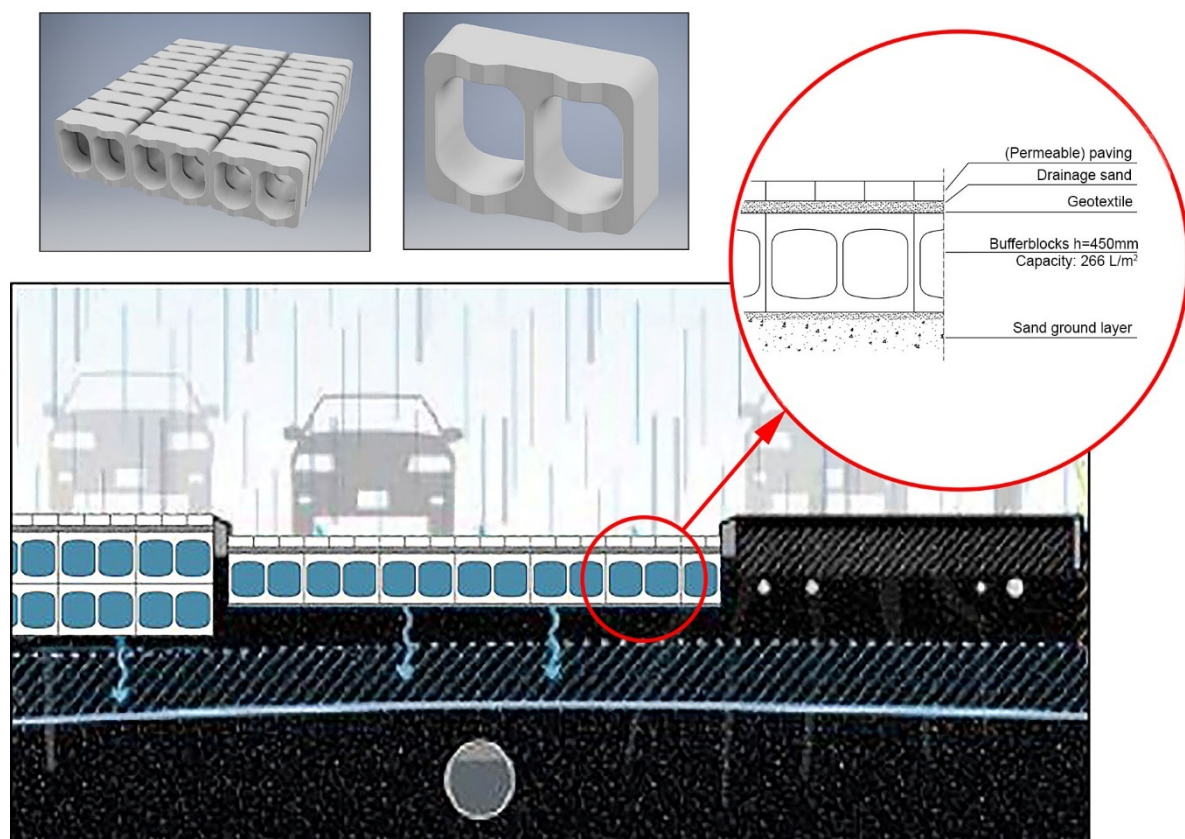
2.2.2. Bufferblock

Het Bufferblock is een oplossing voor regenwaterafvoer en -buffering in stedelijk gebied. De werking is vergelijkbaar met die van infiltratiekratten, maar door de hogere sterkte is er een dunnere toplaag nodig. Dit resulteert in een minder diepe constructie in combinatie met een hoge buffercapaciteit

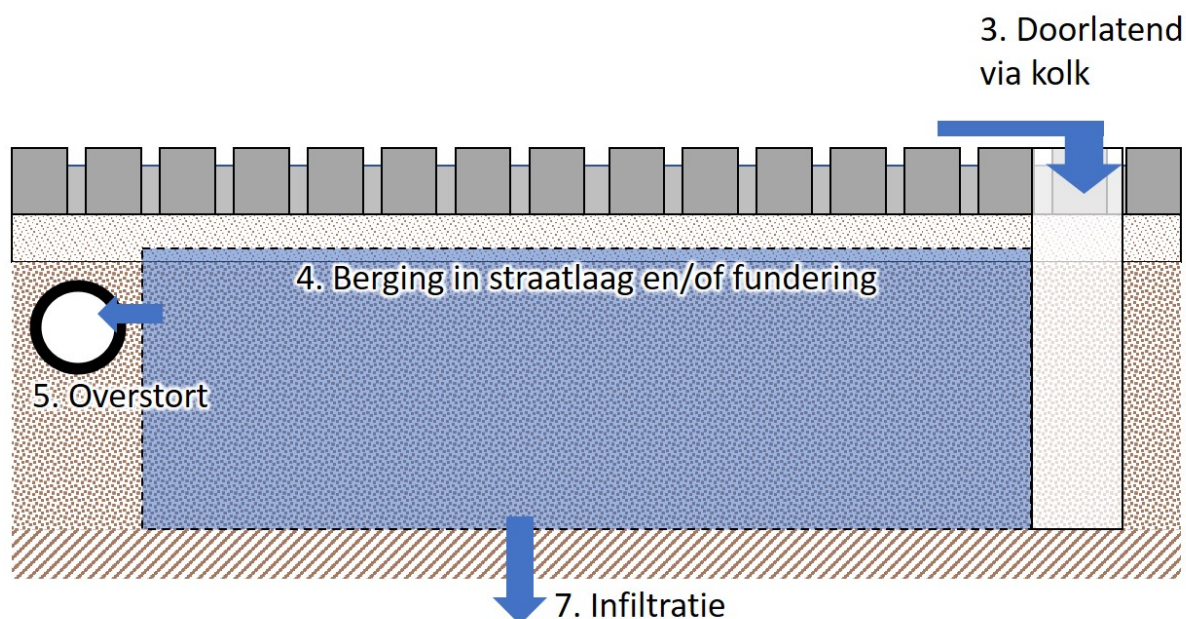
Regenwater komt via kolken in de holle ruimtes van de Bufferblocks, waarna het water verder infiltreert in de bodem of wordt afgevoerd. De Bufferblocks hebben een water opslagcapaciteit van 266 tot 532 liter per vierkante meter en kunnen zware verkeersbelastingen aan.

Alle type verhardingen kunnen bovenop de Bufferblocks worden toegepast. Zo kan ook waterdoorlatende verharding worden toegepast in combinatie met een kolk.

De overzichtstekening en de Schematisatie van de werkende principes zijn in onderstaande figuren weergegeven.



Figuur 2-8: Bufferblock overzichtstekening van leverancier



Figuur 2-9: Schematisatie Bufferblock. Deze kan in de infiltrerende of overstortende variant worden aangelegd

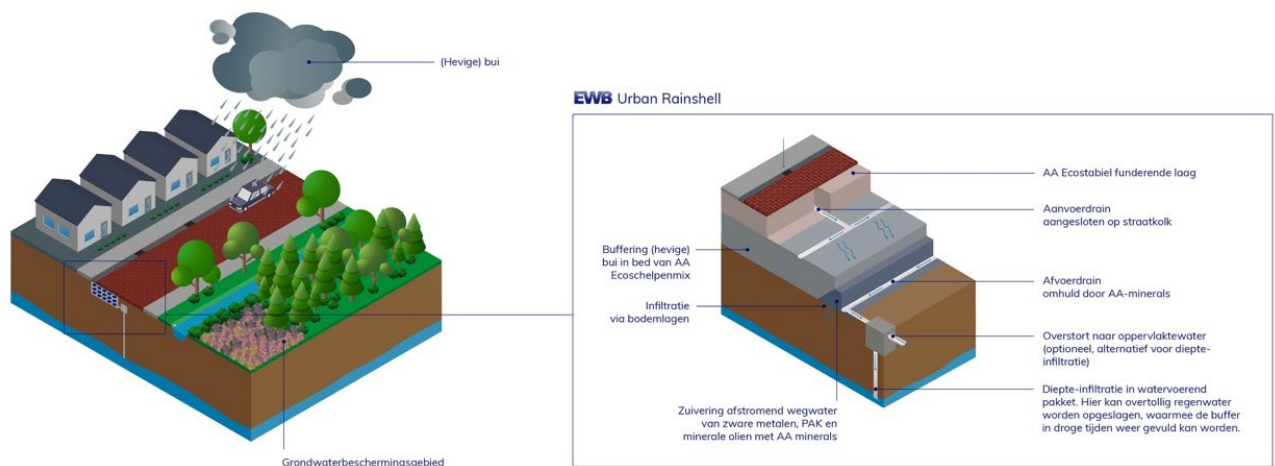
Tabel 2-3: Kenmerken Bufferblock

Kenmerk	Fabriekswaarde	Bron
Werkende principes	- Doorlatend via kolk - Berging in fundering - Lediging door infiltratie of overstort	https://www.bufferblock.nl/oplossingen/
Infiltratiesnelheid	Waterinlaat en infiltratiesnelheid in bodem zijn afhankelijk van (kolk)ontwerp en k-waarde ondergrond	Informatie leverancier
Bergingscapaciteit	266 mm (1-laags) of 532 mm (2-laags)	Folder 'Product informatie' op website https://www.bufferblock.nl/downloads/#technisch
Kosten aanleg van het systeem (EUR)		
Jaarlijkse kosten voor beheer en onderhoud (EUR)	- Kolken meenemen in standaard reinigingsprogramma - Systeem inspecteer- en reinigbaar met gebruikelijke riool inspectie- en reinigingsapparatuur.	Informatie leverancier
Bijzondere kenmerken	- Door het hoge draagvermogen is er minder gronddekking nodig dan bij kunststof infiltratiekratten en kan er meer waterbergende capaciteit gerealiseerd worden in minder hoogte - De holle ruimtes van de Bufferblocks zijn inspecteer- en reinigbaar met de gebruikelijke riool inspectie- en reinigingsapparatuur. - Lichtgewicht ophoogmateriaal	Folders 'Inspectie en Onderhoud' en 'Product informatie' op website https://www.bufferblock.nl/downloads/#technisch

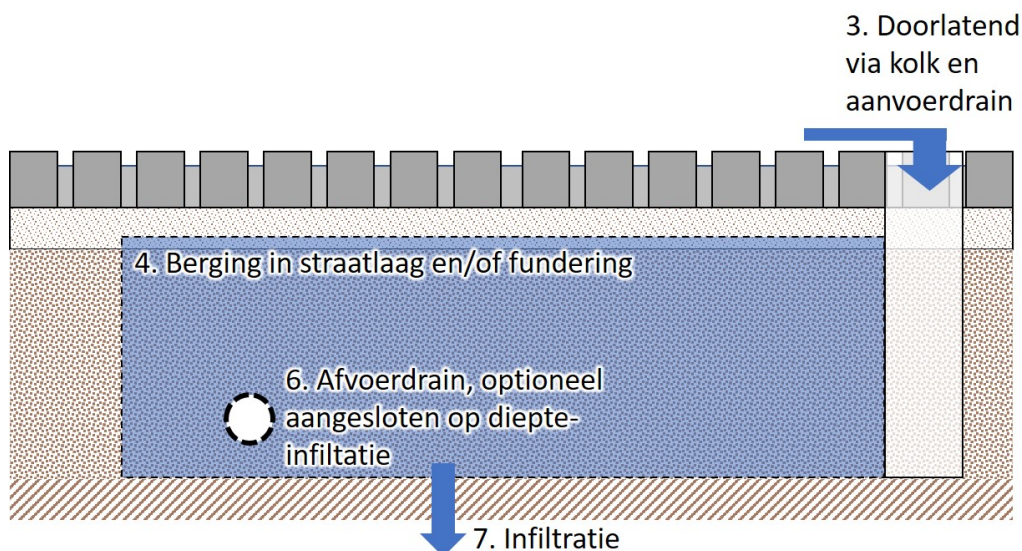
2.2.3. EWB Urban rainshell

De Urban Rainshell® is een ondergronds regenwaterbuffering en -zuiveringssysteem op basis van natuurlijk, hernieuwbaar en circulair materiaal: schelpen en mineralen.

Piekbuien worden afgekoppeld en gebufferd via kolken en een aanvoerverdeeldrain in een bed van AA Ecoschelpenmix. Indien afgedekt met een juiste funderingsopbouw is het mogelijk dit systeem ook onder verkeersbelasting toe te passen. Vervuild water wordt gezuiverd van zware metalen, minerale oliën en PAK via een afvoerverzameldrain omhuld door een innovatief mineralenmengsel: AA minerals. Hierna kan het water veilig worden geïnfiltreerd, ook in grondwaterbeschermingsgebieden of waterwingebieden (zoals Natura 2000 gebieden). Het gezuiverde water kan indien gewenst ook (op vrij verval) op diepte geïnfiltreerd worden in het watervoerend pakket. Diepte-infiltratie gebeurt in samenwerking met Henk van Tongeren Water & Techniek B.V m.b.v. de zogeheten FHVI-technologie® (Fast High Volume Infiltration: www.dsi-infiltratie.nl). Hiermee kunnen grotere hoeveelheden verhard oppervlak kosteneffectief afgekoppeld worden (zonder de overvolle ondergrondse infra extra te belasten). Zoet water blijft hiermee lokaal beschikbaar, wat bijdraagt aan voorkomen van verdroging en verzilting.



Figuur 2-10: EWB urban rainshell overzichtstekening van fabrikant



Figuur 2-11: Schematisatie EWB Urban rainshell

Tabel 2-4: Kenmerken EWB Urban rainshell

Kenmerk	Fabriekswaarde	Bron
Werkende principes	- Doorlatend via kolk en aanvoerdrain - Berging onder fundering met drainage voor aanvoer/verdeling water - Overstort naar watervoerend pakket m.b.v. diepte-infiltratie d.m.v. DSI / FHVI systeem of naar HWA/oppervlaktewater (contextafhankelijk)	Overzichtstekening van fabrikant (zie Figuur 2-10)
Infiltratiesnelheid (onderliggend materiaal)	K-waarde AA Ecoschelpenmix ca 1300 m/d. Capaciteit kolk en aanvoerdrain is bepalende factor om deze infiltratiesnelheid te behalen	Informatie fabrikant Onderzoek Tauw
Bergingscapaciteit	Bergend vermogen AA Ecoschelpenmix 70%, AA Minerals 35%. Afhankelijk van de eisen kan de diepte worden aangepast om meer berging te creëren. Aantal mm berging is flexibel en context-afhankelijk (grondwaterstand, gewenste hoeveelheid af te koppelen m2 verhard oppervlak, gewenste te bergen bui, totale debiet dat gezuiverd moet worden en gewenste levensduur systeem).	Informatie fabrikant
Kosten aanleg van het systeem (EUR)	Opvraagbaar bij leverancier	
Jaarlijkse kosten voor beheer en onderhoud (EUR)	Beperkte meerkosten t.o.v. standaard gemeentelijke kolkenregime. Onderhoud is beperkt tot inspectie kolken en aanvoer verdeeldrain en schoonmaken/doorspuiten indien nodig	Informatie fabrikant
Bijzondere kenmerken	- Zuiverend vermogen (zware metalen, minerale oliën, PAKs) zuivering afstromend provinciaal wegwater binnen infiltratiebesluit bodembescherming. - Zelfreinigend systeem (onderhoudsarm, AA Ecoschelpenmix breekt organische vervuiling af waardoor systeem niet dicht slibt, mits aanvoerdrain goed wordt onderhouden)	Informatie fabrikant Onderzoek Tauw Onderzoek KWR

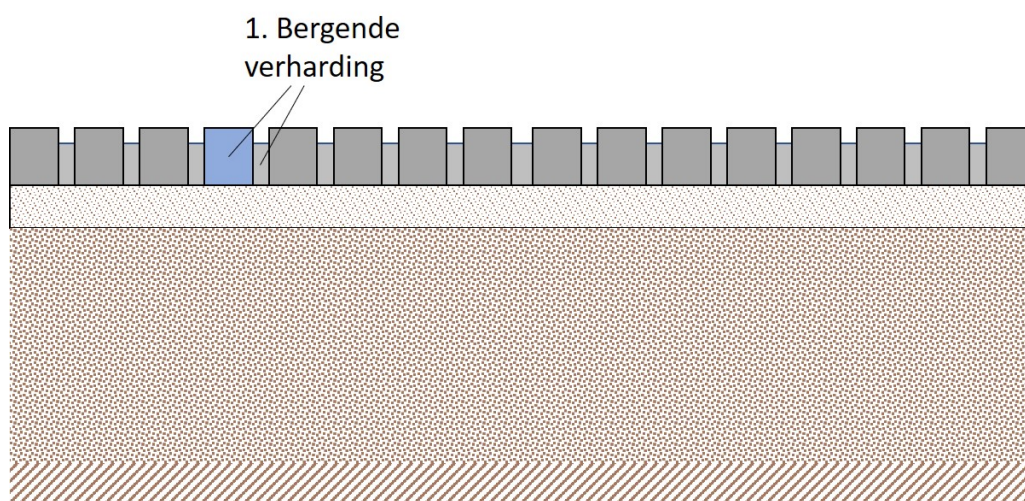
	- Natuurlijk, hernieuwbaar en circulair materiaal - Lichtgewicht materiaal, zonder opdrijfgevaar en toepasbaar bij geringe draagkrachtige gronden. - Flexibel: ook toepasbaar bij hoge grondwaterstanden - Flexibel: Bij aanleg kan bestaande ondergrondse infrastructuur (kabels en leidingen) gehandhaafd blijven (AA Ecoschelpenmix en AA Minerals kunnen eromheen gelegd worden). - Toepasbaar om verzilting tegen te gaan - Het systeem kan toegepast worden in combinatie met elk type verharding, waardoor de voordelen van andere typen verharding (koeling, voorkomen plasvorming, geluidsdemping) kunnen worden benut. De keuze voor de verharding is echter ondergeschikt voor de bergingscapaciteit, infiltratiesnelheid en zuiveringscapaciteit van het systeem.	
--	--	--

2.2.4. Tilesystem (Z-series)

De Z-serie trottoirtegels of klinkers bestaan uit Zeer Open Afval Keramiek (ZOAK). Deze klinkers worden geproduceerd uit keramisch afval dat ontstaat bij het produceren van keramische tegels.



Figuur 2-12: Z-series Tilesystem



Figuur 2-13: Schematisatie Tilesystem

Tabel 2-5: Kenmerken Z-series Tilesystem

Kenmerk	Fabriekswaarde	Bron
Werkend principe	Bergende verharding	Overzichtstekening van fabrikant (zie Figuur 2-12)
Infiltratiesnelheid	1500 mm/uur (op basis van de aangegeven 25 mm/minuut)	https://tilesystemx.com/z-series/
Bergingscapaciteit	80 – 100 mm (op basis van de X-serie)	https://tilesystemx.com/x-systeem/
Kosten aanleg van het systeem (EUR)	Opvraagbaar bij leverancier	
Jaarlijkse kosten voor beheer en onderhoud (EUR)	Opvraagbaar bij leverancier	
Bijzondere kenmerken	- Gaat hittestress tegen - Geluidsreducerend - Sterker dan betonstraatstenen - Langere levensduur	https://tilesystemx.com/z-series/

2.2.5. Drainvast (drainvoeg en Drainstop)

De Drainvoeg is een duurzame waterdoorlatende infiltratievoeg. Het hemelwater wordt via de drainvoegen naar de onderliggende bufferende fundering gevoerd en vervolgens geïnfiltreerd in de bodem. Voor een juiste werking van de drainvoegen is het belangrijk dat het hemelwater snel/makkelijk de onderliggende bufferende fundering kan bereiken. De fundering bestaat uit een bufferende laag van circa 30 cm van 4-32 menggranulaat met daarop een vlijlaag van 2-6 niet kalkhoudend split. Het invegen van de straat gebeurt met 1-3 niet kalkhoudend split. Een funderingstekening is bijgevoegd.

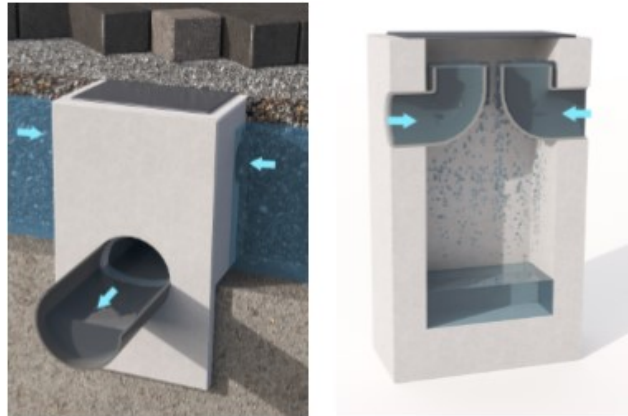
Vervuiling blijft bovenop de drainvoegen liggen, wordt losgereden door het verkeer en kan door de veegmachine worden gereinigd. De onderliggende waterbergende fundering blijft hierdoor vrij van vervuiling. De drainvoeg kan toegepast worden bij elk soort steen qua formaat en legverband. Ook kan de drainvoeg worden toegepast bij her te gebruiken materialen



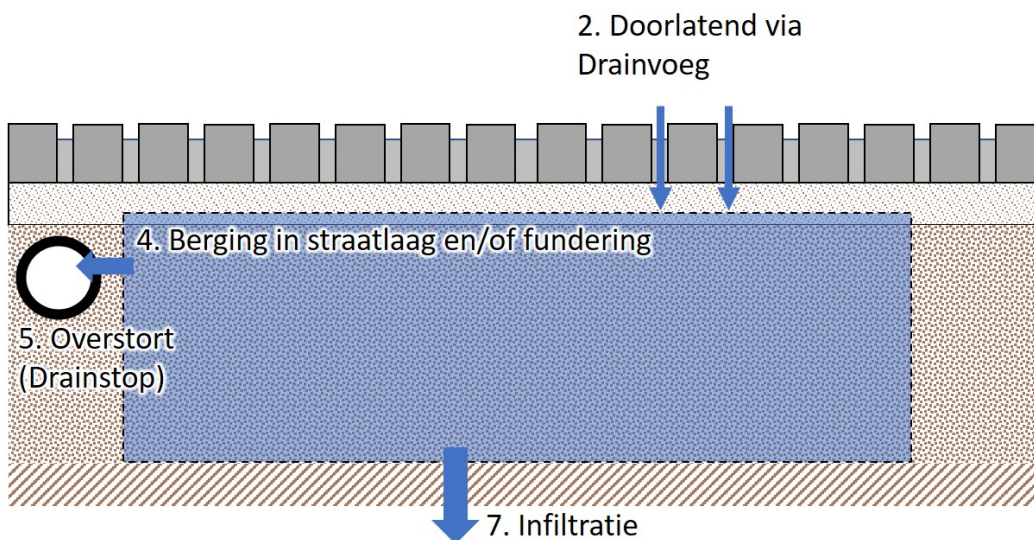
Figuur 2-14: Drainvoeg

De Drainstop is een ondergrondse kolk/overstort die het mogelijk maakt om ook in gebieden met een lage k-waarde te kunnen infiltreren. De Drainstop voorkomt dat in geval van extreme neerslagsituaties er permanent water in de straatlaag staat van de waterpasserende verharding met drainvoegen. Alleen bij het bereiken van een vooraf bepaald maximum waterpeil in de bufferende fundering treedt

de overstort in werking en voert het overtollige hemelwater af richting open water, wadi of riool. Daalt het peil in de fundering dan infiltreert het water weer in de bodem als voorheen.



Figuur 2-15: Drainstop



Figuur 2-16: Schematisatie Drainvast (Drainvoeg en Drainstop in combinatie met berging in de straatlaag en fundering)

Tabel 2-6: Kenmerken Drainvast (Drainvoeg en Drainstop)

Kenmerk	Fabriekswaarde	Bron
Werkende principes	- Doorlatend via de naaldvilt voeg - Berging in straatlaag en funcering - Leging via infiltratie - Leging via overstort	Overzichtstekening fabrikant en funderingstekening
Infiltratiesnelheid	- Initiele doorlatendheid per m2 – keiformaat steen rondom voorzien van drainvoegen = 2.092 liter/m2/uur = 2092 mm/uur - Initiele doorlatendheid per m2 – dikformaat steen rondom voorzien van drainvoegen = 2.854 liter/m2/uur = 2854 mm/uur	Informatie fabrikant
Bergingscapaciteit	- Afhankelijk van de toegepaste dikte van de funderingslaag. Bij een standaardopbouw van 300 mm menggranulaat 4-32 is dit 90 mm. Een grote berging wordt gecreëerd door de laagdikte te vergroten	Informatie fabrikant
Kosten aanleg van het systeem (EUR)	- Meerprijs is circa € 10,-- per m2. De prijs verschilt per project: afhankelijk van steenformaat, legverband, verhouding af te koppelen oppervlak versus oppervlak met drainvoegen.	Informatie fabrikant
Jaarlijkse kosten voor beheer en onderhoud (EUR)	- Geen extra kosten, reiniging met de veegwagen is minimaal 2x per jaar noodzakelijk afhankelijk van de omstandigheden ter plaatse.	Informatie fabrikant
Bijzondere kenmerken	- Vervuiling blijft boven op de voegen liggen waardoor reiniging met de veegwagen kan plaatsvinden, bij droge weersomstandigheden. - Vervuiling kan de onderliggende fundering niet vervuilen - Toepasbaar bij elk steenformaat - Configuratie van het soort voegen en het aantal voegen per m2 wordt per project bepaald, afhankelijk van het totaal af te koppelen verhard oppervlak en het oppervlak dat voorzien wordt van drainvoegen - Bij langzaam infiltrerende bodems (ondergrond) fungeert de drainstop als overstort/noodoverloop	Informatie fabrikant

3. Voordelen infiltrerende verharding op basis van model

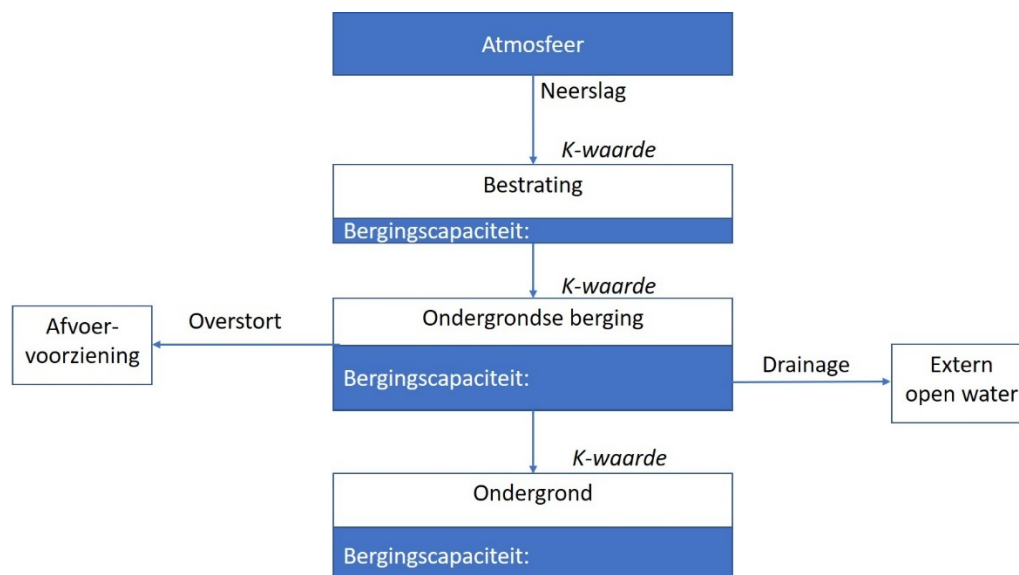
3.1. Inleiding

Het doel van dit hoofdstuk is om inzicht te krijgen in de voordelen van infiltrerende verhardingen ten opzichte van conventionele oplossingen. Hiertoe is een model opgesteld waarmee de theoretische berging en afvoer van een infiltrerend of bergend systeem kan worden bepaald op basis van kentallen. Deze kentallen zijn inputvariabelen in het model en kunnen door de gebruiker zelf worden ingevoerd. Voor het opstellen van het model zijn de infiltrerende en bergende principes uit het vorige hoofdstuk als basis gebruikt. Het model geeft bij verschillende (piek)buien aan of een infiltrerend/bergend straatsysteem wel of geen wateroverlast geeft. Dit is uitgedrukt in een bergingstekort. Het model is toegepast op de systemen uit het voorgaande hoofdstuk.

3.2. Conceptueel model

In het voorgaande hoofdstuk zijn verschillende principes voor doorlatende en bergende verhardingen beschreven (Figuur 2-1). In iedere laag kan berging plaatsvinden. Daarbij geldt tevens dat deze lagen in meer of mindere mate met elkaar verbonden kunnen zijn. De doorlatendheid tussen de lagen noemen we de K-waarde. Dit is de snelheid waarmee water een laag kan binnendringen. Als een laag dus een grote bergingscapaciteit heeft, maar de K-waarde klein is (bijvoorbeeld door verstopping) dan kan de bergingscapaciteit maar ten dele worden benut. Naast berging en doorlatendheid wordt het gedrag van een infiltrerende/bergende straat ook bepaald door aanwezige drainage of overstortvoorzieningen. Dit kan bijvoorbeeld een overstort naar het oppervlaktewater zijn of naar een voorziening voor diepte-infiltratie.

In onderstaande figuur is het conceptuele model weergegeven. Zoals hierboven beschreven bevat elke laag een bergingscapaciteit en een K-waarde. Eventuele drainage of overstortvoorzieningen zijn op de ondergrondse berging aangesloten.



Figuur 3-1: Conceptueel model

In de onderstaande tabel zijn de invoerparameters van het conceptueel model toegelicht. Alle waarden worden in mm of mm/uur ingevoerd. Aangezien K-waarden vaak in m/dag of m/uur worden uitgedrukt dienen deze eerst te worden omgerekend.

Tabel 3-1: Invoerparameters model

Laag	Invoerparameters	Eenheid	Uitleg
Atmosfeer/ oppervlak	Neerslag	mm/uur	Hier wordt de bui ingevoerd. Dit kan bijvoorbeeld 100 mm/uur zijn.
	Bergingscap_op	mm	De toelaatbare hoeveelheid water op straat door bijvoorbeeld plassen. Vaak wordt een norm van 2 mm aangehouden
Bestrating	K-waarde_st	mm/uur	De doorlatendheid van de verharding. Deze kan worden veroorzaakt door waterpasserende verharding of door kolken. Bij kolken zal de K-waarde heel groot zijn, bijvoorbeeld 1000 mm/uur.
	Bergingcap_st	mm	De bergingscapaciteit in de stenen, net onder de stenen of in de voegen. Deze waarde is bijvoorbeeld relevant bij poreuze stenen of bij stenen met nokjes.
Bergende voorziening	k-waarde_v	mm/uur	Hier wordt de doorlatendheid van het overgangsvlak tussen de bestrating en de bergende voorziening ingevoerd. In geval van een bergende voorziening is deze vaak niet limiterend dus kan een hoge waarde van bijvoorbeeld 100 mm/uur worden gekozen
	Bergingcap_v	mm	Dit is de bergingscapaciteit van de bergende voorziening.
Ondergrond	k-waarde_on	mm/uur	Hier wordt de doorlatendheid van het overgangsvlak tussen de bergende voorziening en de ondergrond ingevoerd. Hiermee kan de bergende voorziening worden geleegd of juist worden afgesloten. In het geval van waterafsluitend folie zal deze bijvoorbeeld 0 zijn. In het geval van onderliggend zand kan deze meer dan 500 mm/uur zijn
	Bergingcap_on	mm	Deze waarde hangt af van de porositeit van de ondergrond en de diepte van het grondwater. De bovenliggende onverzadigde laag bepaalt dan de hoeveelheid beschikbare berging. Door porositeit van de ondergrond is afhankelijk van de korrelverdeling. Nauwkeuriger is het om dit te bepalen op basis van boringen en laboratoriumonderzoek
Oppervlaktewater	Drainagecapaciteit	mm/uur	In het geval van drainage wordt hier een schatting van de hoeveelheid water dat wordt afgevoerd in een uur opgegeven.
Overstort voorziening	ja = 1 /nee = 0		Als er een overstortvoorziening is geplaatst en de bergende voorziening is gevuld dan wordt het overschot aan water dat de ondergrond bereikt overgestort

3.3. Voorbeeldberekeningen van drie standaard systemen

In deze paragraaf wordt voor 3 standaardssystemen getoond hoe het model werkt en hoe de systemen functioneren. Dit wordt gedaan bij een theoretische bui van 100 mm/uur.

Tabel 3-2: Voorbeeldsystemen, waarbij aangegeven welke werkingsprincipes een rol spelen bij het (totaal)functioneren van de voorziening

Voorbeeldsysteem	Bestrating	Bergende voorziening	Ondergrond
1	Waterpasserend [2]	Holtes [1]	Klei
2	Bufferend [1] en waterpasserend [2]	Geen (zandlichaam)	Zand
3	Kolk [3]	Poreuze funderingslaag [4] met overstortvoorziening [5]	Afgesloten met waterdicht folie

In onderstaande tabel zijn illustratieve waardes gekozen om de voorbeeld systemen te testen.

Tabel 3-3: Parameters voorbeeldsystemen

Laag	Invoerparameters	Voorbeeld 1 (waterpasserend, holtes, klei)	Voorbeeld 2 (bufferend en waterpasserende bestrating, zandlichaam, zand)	Voorbeeld 3 (Kolk, poreuze grond met overstort, afgesloten met geotextiel)
Atmosfeer/ oppervlak	Neerslag [mm/uur]	100	100	100
	Bergingscap_op [mm]	2	2	2
Bestrating	K-waarde_st [mm/uur]	80	80	1000
	Bergingcap_st [mm]	5	40	0
Bergende voorziening	k-waarde_v [mm/uur]	1000	50	500
	Bergingcap_v [mm]	1000	500	600
Ondergrond	k-waarde_on [mm/uur]	0.001	50	0
	Bergingcap_on [mm]	100	5000	0

3.4. Resultaten berekeningen bij voorbeeldsystemen

Voorbeeld 1 (waterpasserend, holtes, klei)	Voorbeeld 2 (bufferend en waterpasserende bestrating, zandlichaam, zand)	Voorbeeld 3 (Kolk, poreuze grond met overstort, afgesloten met geotextiel of folie)																																																																																																																																																
Resultaten:																																																																																																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Oppervlak</th><th></th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Neerslag</td><td>100</td><td>mm/uur</td></tr> <tr> <td>Toelaatbare be</td><td>2</td><td>mm</td></tr> <tr> <td>Bergingstekort</td><td>18</td><td>mm</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Straatlaag</th><th></th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K-waarde</td><td>80</td><td>mm/uur</td></tr> <tr> <td>Bergingscap</td><td>5</td><td>mm</td></tr> <tr> <td>Berging_S</td><td>0</td><td>mm</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Voorziening</th><th></th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K-waarde</td><td>1000</td><td>mm/uur</td></tr> <tr> <td>Bergingscap + D</td><td>1000</td><td>mm</td></tr> <tr> <td>Berging_V</td><td>79,999</td><td>mm</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ondergrond</th><th></th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K-waarde</td><td>0,001</td><td>mm/uur</td></tr> <tr> <td>Bergingcap</td><td>100</td><td>mm</td></tr> <tr> <td>Berging_On</td><td>0,001</td><td>mm</td></tr> </tbody> </table>	Oppervlak			Neerslag	100	mm/uur	Toelaatbare be	2	mm	Bergingstekort	18	mm	Straatlaag			K-waarde	80	mm/uur	Bergingscap	5	mm	Berging_S	0	mm	Voorziening			K-waarde	1000	mm/uur	Bergingscap + D	1000	mm	Berging_V	79,999	mm	Ondergrond			K-waarde	0,001	mm/uur	Bergingcap	100	mm	Berging_On	0,001	mm	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Oppervlak</th><th></th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Neerslag</td><td>100</td><td>mm/uur</td></tr> <tr> <td>Toelaatbare be</td><td>2</td><td>mm</td></tr> <tr> <td>Bergingstekort</td><td>18</td><td>mm</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Straatlaag</th><th></th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K-waarde</td><td>80</td><td>mm/uur</td></tr> <tr> <td>Bergingscap</td><td>40</td><td>mm</td></tr> <tr> <td>Berging_S</td><td>30</td><td>mm</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Voorziening</th><th></th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K-waarde</td><td>50</td><td>mm/uur</td></tr> <tr> <td>Bergingscap + D</td><td>500</td><td>mm</td></tr> <tr> <td>Berging_V</td><td>0</td><td>mm</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ondergrond</th><th></th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K-waarde</td><td>50</td><td>mm/uur</td></tr> <tr> <td>Bergingcap</td><td>5000</td><td>mm</td></tr> <tr> <td>Berging_On</td><td>50</td><td>mm</td></tr> </tbody> </table> *) De blauwe balkjes geven aan hoeveel de betreffende berging benut is	Oppervlak			Neerslag	100	mm/uur	Toelaatbare be	2	mm	Bergingstekort	18	mm	Straatlaag			K-waarde	80	mm/uur	Bergingscap	40	mm	Berging_S	30	mm	Voorziening			K-waarde	50	mm/uur	Bergingscap + D	500	mm	Berging_V	0	mm	Ondergrond			K-waarde	50	mm/uur	Bergingcap	5000	mm	Berging_On	50	mm	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Oppervlak</th><th></th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Neerslag</td><td>100</td><td>mm/uur</td></tr> <tr> <td>Toelaatbare be</td><td>2</td><td>mm</td></tr> <tr> <td>Bergingstekort</td><td>-2</td><td>mm</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Straatlaag</th><th></th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K-waarde</td><td>1000</td><td>mm/uur</td></tr> <tr> <td>Bergingscap</td><td>0</td><td>mm</td></tr> <tr> <td>Berging_S</td><td>0</td><td>mm</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Voorziening</th><th></th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K-waarde</td><td>500</td><td>mm/uur</td></tr> <tr> <td>Bergingscap + D</td><td>600</td><td>mm</td></tr> <tr> <td>Berging_V</td><td>100</td><td>mm</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ondergrond</th><th></th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K-waarde</td><td>0</td><td>mm/uur</td></tr> <tr> <td>Bergingcap</td><td>0</td><td>mm</td></tr> <tr> <td>Berging_On</td><td>0</td><td>mm</td></tr> </tbody> </table>	Oppervlak			Neerslag	100	mm/uur	Toelaatbare be	2	mm	Bergingstekort	-2	mm	Straatlaag			K-waarde	1000	mm/uur	Bergingscap	0	mm	Berging_S	0	mm	Voorziening			K-waarde	500	mm/uur	Bergingscap + D	600	mm	Berging_V	100	mm	Ondergrond			K-waarde	0	mm/uur	Bergingcap	0	mm	Berging_On	0	mm
Oppervlak																																																																																																																																																		
Neerslag	100	mm/uur																																																																																																																																																
Toelaatbare be	2	mm																																																																																																																																																
Bergingstekort	18	mm																																																																																																																																																
Straatlaag																																																																																																																																																		
K-waarde	80	mm/uur																																																																																																																																																
Bergingscap	5	mm																																																																																																																																																
Berging_S	0	mm																																																																																																																																																
Voorziening																																																																																																																																																		
K-waarde	1000	mm/uur																																																																																																																																																
Bergingscap + D	1000	mm																																																																																																																																																
Berging_V	79,999	mm																																																																																																																																																
Ondergrond																																																																																																																																																		
K-waarde	0,001	mm/uur																																																																																																																																																
Bergingcap	100	mm																																																																																																																																																
Berging_On	0,001	mm																																																																																																																																																
Oppervlak																																																																																																																																																		
Neerslag	100	mm/uur																																																																																																																																																
Toelaatbare be	2	mm																																																																																																																																																
Bergingstekort	18	mm																																																																																																																																																
Straatlaag																																																																																																																																																		
K-waarde	80	mm/uur																																																																																																																																																
Bergingscap	40	mm																																																																																																																																																
Berging_S	30	mm																																																																																																																																																
Voorziening																																																																																																																																																		
K-waarde	50	mm/uur																																																																																																																																																
Bergingscap + D	500	mm																																																																																																																																																
Berging_V	0	mm																																																																																																																																																
Ondergrond																																																																																																																																																		
K-waarde	50	mm/uur																																																																																																																																																
Bergingcap	5000	mm																																																																																																																																																
Berging_On	50	mm																																																																																																																																																
Oppervlak																																																																																																																																																		
Neerslag	100	mm/uur																																																																																																																																																
Toelaatbare be	2	mm																																																																																																																																																
Bergingstekort	-2	mm																																																																																																																																																
Straatlaag																																																																																																																																																		
K-waarde	1000	mm/uur																																																																																																																																																
Bergingscap	0	mm																																																																																																																																																
Berging_S	0	mm																																																																																																																																																
Voorziening																																																																																																																																																		
K-waarde	500	mm/uur																																																																																																																																																
Bergingscap + D	600	mm																																																																																																																																																
Berging_V	100	mm																																																																																																																																																
Ondergrond																																																																																																																																																		
K-waarde	0	mm/uur																																																																																																																																																
Bergingcap	0	mm																																																																																																																																																
Berging_On	0	mm																																																																																																																																																
Toelichting:																																																																																																																																																		
18 mm bergingstekort. De K-waarde van de waterpasserende verharding is limiterend waardoor de berging van de voorziening maar voor een klein deel wordt benut	18 mm bergingstekort. De K-waarde van de waterpasserende verharding is limiterend waardoor er water op straat blijft staan. De berging van de poreuze stenen wordt grotendeels benut. De K-waarde van het onderliggende zand bepaalt de hoeveelheid die in de ondergrond wordt geborgen.	2 mm bergingsoverschot. Er staat dus geen water op straat. De hoge K-waardes van de kolken en de voorziening zorgen dat al water wordt geborgen in de voorziening. De overstort hoeft niet in werking.																																																																																																																																																

4. Kennisoverzicht meetmethoden (praktijk)proeven aan doorlatend vermogen van verharding

4.1. Inleiding

Stedelijk gebied met toenemende verharding zorgt voor beperkte infiltratiecapaciteit van neerslag. Gemeentes hebben zorgplicht om wateroverlast onder piekbuien te voorkomen, ook richting de toekomst. Traditionele vormen van verharding voldoen niet altijd, daarom zijn er diverse innovaties op het gebied van infiltrerende en waterpasserende verharding ontwikkeld. Om de effectiviteit te meten van dit type verharding zijn verschillende meetmethodes ontwikkeld. De belangrijkste worden in dit hoofdstuk toegelicht.

4.2. Meettechnieken voor onderzoek naar functioneren van infiltrerende verharding

De doorlatendheid van de verharding geeft indicatie of de verharding nog voldoende functioneert en of het noodzakelijk is beheer en onderhoud uit te voeren (Boogaard, 2015) (Boogaard & Lucke, 2019). Veel metingen worden van oudsher uitgevoerd via de dubbele ringmethode. In onderzoek van Boogaard & Lucke, 2019 wordt aangegeven dat er een behoorlijke spreiding in meeresultaten van DRIT en SRIT kan optreden. Het is aannemelijk dat dit kan liggen aan het mogelijk voorkomen van laterale wegstroom of juist door de variabiliteit over het onderzochte meetvlak. Daarnaast kan meespelen dat door het relatief kleine oppervlak waarmee in ringtesten wordt gewerkt er een grote foutmarge kan optreden door een te klein aantal steekproeven. De Full-scale test methode heeft als voordeel dat dergelijke fouten minder snel optreden en ook bij deze test is het noodzakelijk niet te vertrouwen op één enkele metingen maar liever drie metingen uit te voeren (Boogaard & Lucke, 2019). Uitkomst van het literatuuronderzoek is dat er verschillende manieren zijn om het functioneren van infiltrerende verhardingen zowel voor bestaande situaties als nieuwe innovaties te beoordelen. Meettechnieken aan infiltrerende verharding zijn vaak een afgeleide van meettechnieken die een natuurlijke bodem, dus zonder de aanwezigheid van een verhardingslaag/ funderingen). Hieronder worden de verschillende meettechnieken die relevant zijn voor het project Infiltrerende Stad beschreven.

4.2.1. Enkele ring Infiltrometer

Op kleinere schaal kan ook het infiltrerend vermogen gemeten worden met een enkele ring, dit is de eenvoudigste test en bestaat slechts uit één cilinder. Deze test wordt uitgevoerd door het waterniveau in de ring constant te houden (constante opvoerhoogte= "EN:constant head") en over een specifiek tijdsinterval de hoeveelheid toegevoegd water te bepalen. De diameter van de ring is 30 cm en hoogte ongeveer 25 cm.

Voor deze test geldt dat het niet altijd mogelijk is de zijwaartse beweging van water (lateraal) te beperken en dat variaties in de infiltratiesnelheden kunnen worden veroorzaakt door de (lateraal)uitstroom vanuit de ring.

De enkele ring methode staat bekend als ASTM C1701 / C1701M – 09 test methode.

De enkele ringproef is eenvoudig en gemakkelijk uitvoerbaar. Toch kleeft er een nadeel aan de deze proef. Uit literatuur blijkt dat bij gebruik van kleinere ringen er vaak een overschatting wordt gemaakt van het infiltrerend vermogen, soms wel met 40%.

4.2.2. Dubbele ring infiltratie test

De dubbele ring methode is in veel wetenschappelijke artikelen beschreven als een geschikte test voor het uitvoeren van metingen van het infiltrerend vermogen van verhardingen (en natuurlijke bodem). Deze test is eigenlijk bedoeld voor het doen van testen aan natuurlijke bodem. In dat geval wordt de ring in de bodem ingesloten. Dit levert een beter test resultaat op dan bij het uitvoeren van metingen aan verhardingen omdat het in de praktijk het lastig is om laterale stroming te voorkomen. De dubbele ring methode staat bekend als ASTM D3385-09 DRIT.

De dubbele ringtest kent dezelfde meetstrategie als de enkele ring, het verschil ligt in het gebruik van een tweede concentrische ring. Deze tweede ring heeft een grotere diameter dan de eerste ring en is bedoel voor het op peil houden van water in de buitenring zodat laterale stroming vanuit de binnenring wordt beperkt en zo voor de binnenring enkel de verticale infiltratiesnelheid van het water in de binnenring wordt gemeten. De gemeente Rotterdam heeft ervaring opgedaan met het automatiseren van deze meetmethode waardoor de waterpeilen constant blijven. Globaal zijn er twee vormen van deze meetmethode:

1. Constant head: het water wordt in binnenring constant (constante opvoerhoogte= "EN:constant head") gehouden en een specifiek tijdsinterval wordt bepaald wat de hoeveelheid toegevoegde water was.
2. Falling head benadering: hierbij wordt water bij start van de meting ineens te voegen en het water de tijd te geven te infiltreren waarbij het water in de buitenring wordt gelijk gehouden met de (zakkende) binnenwaterstand.

Nadelen

- Hoewel het afsluiten van voegen in elementenverhardingen met bentoniet en/of klei voor de meting niet als lastig wordt ervaren door ervaren experts, kost het wel wat tijd en moet het zorgvuldig gebeuren. Zelfs bij een zorgvuldige uitvoering bestaat de kans op laterale waterstromen via de voeg, die de meting kan beïnvloeden.
- Er kan interferentie met de grond en de zijkant van de metalen ring ontstaan waardoor onnatuurlijke kwel of juist hogere infiltratiesnelheden gemeten worden.

Voordelen

- Test vereist relatief weinig water en slechts één persoon kan meerdere tests tegelijkertijd instellen en uitvoeren.
- Beperkte ruimtegebruik. In stedelijke omgevingen is het relatief gemakkelijk en minder ingrijpend om een klein wegoppervlak, in slechts één rijrichting, of een parkeervak af te sluiten.

4.2.3. Full scale test

Sinds 2011 zijn in het kader van EU interreg project Skills Integration and new Technologies (SKINT) metingen gedaan naar doorlatende verhardingen met infiltrometer testen. De variatie van onderzoeksresultaten bij deze testen en in de jaren erna (bron: Boogaard 2011-2017)¹, vroeg om een nauwkeurigere meetmethode: 'de full scale testen' die ontwikkeld zijn in het kader van het promotieonderzoek van Floris Boogaard. Bij deze methode worden straatvakken onder water gezet om nauwkeurigere metingen te krijgen. Het doel was om gemeenten en waterschappen inzicht te geven in het daadwerkelijk functioneren van deze verhardingen in de praktijk. Deze inzichten dragen bij aan het maken van weloverwogen keuzes voor de toepassing van deze voorzieningen. De methode kreeg de titel 'floodfighting' en ging de hele wereld over via publicaties en videos¹. De

¹ 'Flood fighter', research on floodings in the urban area: <https://www.youtube.com/watch?v=R14BajCwU6w>

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. Meer informatie over de full scale test is te vinden in Bijlage 3: Meetprotocol Infiltratieproeven Full-scale testmethode en Bijlage 4: Full-scale testmethode algemene beschrijving testopzet.

4.2.4. Regen simulator

Een nadeel van de eerdergenoemde technieken is dat door de kunstmatige peilopzet er (iets van) overschatting van de infiltratie snelheid kan optreden. Een manier om dat te voorkomen is gebruik te maken van een opstellingen waarbij gebruik gemaakt wordt van een meer natuurlijke belasting met water door regenval te simuleren. Het is mogelijk om te werken met Regen simulator – proefopstellingen. Een voorbeeld hiervan is (Park, Sandoval, Lin, Kim, & Cho, 2014). Omdat veel van de proeven grotere oppervlakken betreffen dan 2 bij 2 meter en omdat het veel tijd/ energie en inspanning kost om een Regen simulator op te bouwen is deze testmethode minder geschikt.

4.2.5. Meetapparatuur

Bij het uitvoeren van infiltratiemetingen wordt gebruik gemaakt van het vastleggen van de initiële waterstand. Het vastleggen kan behalve door een visuele meting met behulp van data-loggers plaatsvinden. Het voordeel van gebruik van digitale loggers is dat met een korter tijdsinterval kan worden geregistreerd wat de daalsnelheid is over de tijd is en zo nauwkeuriger de infiltratiesnelheid bepaald kan worden. Deze loggers dienen vooraf te worden geprogrammeerd en hebben een opslagcapaciteit van 24.000 tot 48.000 records en een meetnauwkeurigheid van ca. 1 cm. Dit zijn het meest toegepaste meetinstrumenten bij het uitvoeren van deze metingen. Het is van belang te weten dat deze meetapparatuur moet worden gekalibreerd als met geïnteresseerd is in absolute (daadwerkelijke) gemeten waterstanden. Voor het bepalen van de infiltratiesnelheid is de relatieve waterstandsval het belangrijkste.

4.2.6. Knelpunten en uitdagingen

Bij het meten aan infiltrerende verhardingen is zoals eerder aangegeven de aangebrachte (doorlatende) verhardingslaag niet altijd op dezelfde wijze opgebouwd. Samenvattend is het van belang te realiseren dat het meten (en interpreteren van meetresultaten) aan infiltrerende verharding lastig is om volgende redenen:

- Het is belangrijk om duidelijk en eenduidig te formuleren van welk constructie-onderdeel de infiltratiecapaciteit of doorlatendheid wordt gemeten, bijvoorbeeld het voegmateriaal, de straatlaag (ook wel vlijlaag genoemd), het zandcunet of de natuurlijke (verbeterde) ondergrond, of een combinatie van constructielagen of de gehele constructie.
- Afbakenen van testvlak om te voorkomen dat te veel laterale stroming plaatsvindt en er puur de verticale infiltratiesnelheid gemeten wordt.
- De eigenschappen van de steenlaag inclusief de 1^e funderingslaag kan zorgen voor onverwacht gedrag direct onder steenlaag. Zeker als de funderingslaag verstopt (b)lijkt en/of als gevolg van verzadiging een meer horizontale stroming plaatsvindt.
- Het is niet altijd met zekerheid te zeggen of ter hoogte van het proefvlak drainage aanwezig is, en dat onbedoeld daardoor hogere infiltratiesnelheden gemeten worden.
- Door de verkeerslast op het wegvlak of lokale ondiepten in het te testen straatvlak is de meting met een kleinere proefopzet niet altijd representatief voor het gehele straatvlak.
- De voegen in het straatvlak zorgen bij toepassing van de DRIT-methoden snel voor lekverliezen waardoor het moeilijk is het peil in de buitenring te voorkomen en daarmee laterale toestroom uit de test te voorkomen. Op haar beurt kan er door lekke voegen vanuit

buitenring naar binnenring plaatsvinden potentiaalhoogten waardoor weer aanvulling plaatsvindt naar de binnenring.

- Er is in dit hoofdstuk geen aandacht besteed aan het meten aan systemen die water infiltreren via kolken (zoals enkele in hoofdstuk 2 gepresenteerde innovaties). Dit komt in WP2 en WP3 aan de orde

4.3. Aanpak opstellen kennisoverzicht meetmethodiek

Om een overzicht van praktijkmetingen te maken is als eerste stap in het project een desk- en literatuuronderzoek uitgevoerd om inzicht te krijgen in bestaande manieren van meten aan de infiltratiecapaciteit voor infiltrerende (passerende en waterdoorlatende) verhardingen. Deze vergelijking heeft als doel een betere keuze te kunnen maken in meettechniek wat betreft praktische inzetbaarheid en nauwkeurigheid van meetwaarden.

Aanvullend is aan de hand van literatuuronderzoek gezocht welke factoren van invloed zijn op testresultaten bij infiltratiemetingen en het (dis)functioneren van bestaande infiltrerende verhardingen en nieuwe innovaties in algemene zin.

Vervolgens is een compleet overzicht van metingen gemaakt waarbij als basis gestart is met de metingen die voor de start van het project Infiltrerende Stad reeds waren uitgevoerd. Voor deze metingen waren de testresultaten voor het infiltrerend vermogen reeds beschikbaar. Het Excel overzicht is zo opgesteld dat nieuwe metingen die binnen het project Infiltrerende Stad worden verricht eenvoudig konden worden toegevoegd (zie WP2).

In het Exceloverzicht zijn alle bekende praktijkmetingen opgenomen en gelinkt met omgevingsfactoren die een relatie (kunnen) hebben met testresultaat. Middels gerichte interviews met ondernemers, brononderzoek Dinoloket, via de site cityscan², eventueel locatiebezoek en laatste infiltratiemetingen zo werd het overzicht completer gemaakt. De belangrijkste factoren die in het onderzoek zijn achterhaald en onderzocht zijn dus opgenomen in het kennisoverzicht zodat gericht uitspraak gedaan kan worden naar zaken die het functioneren van waterdoorlatende verhardingen in de praktijk kunnen verklaren maar ook zodat duidelijk wordt waar zaken nog kunnen worden verbeterd of in aanmerking komen voor vervolgonderzoek.

4.4. Overzicht metingen infiltratiecapaciteit

In de Exceltabel zijn alle metingen opgenomen die bekend waren bij aanvang van het project. Gedurende het project worden hier metingen aan toegevoegd. De resultaten van het literatuuronderzoek hebben geleid tot het opstellen van een kennisoverzicht en zijn vastgelegd in een Exceloverzicht. In de vervolgfase van het project kan dit overzicht gebruikt en uitgebreid worden om een zo volledig mogelijk gevulde database te maken. Met deze database kunnen zowel als draaitabellen en grafieken gemaakt worden. Deze resultaten bieden inzicht in gemeten infiltratiecapaciteiten en hoe deze samenhangen met systeemkarakteristieken en omgevingsfactoren. Deze factoren zijn te vinden in Tabel 4-1. Het doel is om hiermee eenvoudiger te herleiden waardoor in bepaalde situaties een bepaalde (lagere/hogere) infiltratiesnelheid is gemeten. Voor meer informatie wordt verwezen naar Bijlage 3: Meetprotocol Infiltratieproeven Full-scale testmethode en Bijlage 4: Full-scale testmethode algemene beschrijving testopzet

² <https://www.climatescan.nl/>

Tabel 4-1: Invloedsfactoren en systeemkenmerken die zijn opgenomen in het overzicht

Invloedsfactoren	Systeemkenmerken	Meetkenmerken
Ondergrond	Locatie	Reden voor meting
Aanwezigheid bomen	Jaar van aanleg	Gemeten infiltratiecapaciteit
Bedekkingsgraad bomen (%)	Type/merknaam infiltrerende verharding	Tijdstip van meting
Spoorvorming	Leverancier	Controle gedaan
Ontwerpeisen beheer en onderhoud	Toegepaste innovaties	Gemeten oppervlak
Type beheer en onderhoud	Aangekoppeld verhard oppervlak (m2)	Verskil eerdere meting (%)
Grondwaterstand (GHG, GLG; m NAP)	Ontwerpintensiteit (mm/uur)	Uitvoerder meting
Bodemopbouw, inclusief de dichtheid/verdichtingsgraad van het zandcunet	Afvoercapaciteit overstort (mm/uur)	Literatuurlink meting
Datum laatste onderhoud	Eigenschappen en dimensies verharding	Opmerkingen veldwerk onderzoekers
Hoogte drain in ondergrond (m NAP)	Eigenschappen voegmateriaal en straatlaag	Aanvullende informatie
	Eigenschappen geotextiel	
	Eigenschappen funderingslaag	
	Maaiveldhoogte	

4.5. Conclusies praktijkmetingen en meettechnieken

Voor een bruikbaar en betrouwbaar inzicht in het functioneren van infiltrerende verharding in de praktijk, is het noodzakelijk dat de genoemde factoren zoals systeemeigenschappen en omgevingsfactoren zo goed mogelijk worden vastgelegd. Binnen dit project zijn een meetprotocol en meetplan ontwikkeld voor het doen van testen conform de full-scale testmethode. Deze methode wordt ingeschat als de meest geschikte methode om een uitspraak te kunnen doen over de gemiddelde infiltratiecapaciteit die in de praktijk optreedt. Zodoende zijn onderling vergelijkbare datasets gegenereerd voor de Excel database.

Omdat er meerdere elkaar beïnvloedende factoren zijn is het bij aanvang van het project nog lastig om betrouwbare verbanden af te leiden tussen de invloedsfactoren en de infiltratiesnelheid. Hiervoor is grootschaliger onderzoek nodig waarbij maar één factor wordt gevarieerd om statistisch betrouwbare verbanden te leggen. Dit geldt zowel voor nieuwe innovaties die recentelijk zijn aangelegd (in semi-labcondities; bijvoorbeeld de waterstraat) of infiltrerende verhardingen die in het verleden in de praktijk zijn aangelegd.

Zeker in geval van nieuwe aanleg mag verondersteld worden dat de doorlatende verharding optimaal functioneert en voldoet aan de 'fabrieksgarantie'. In merendeel van de gevallen wordt nog niet direct na de aanleg gemeten aan voorzieningen. Het meten vrij kort na aanleg geeft een beter inzicht hoe de voorziening in de praktijk functioneert. Na een aantal jaar kan de meting herhaald worden waardoor kan worden ingeschat of beheer of grootschaliger onderhoud noodzakelijk is.

5. Overzicht huidige beheer en onderhoud

5.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van methoden voor beheer en onderhoud van waterdoorlatende verharding en ondergrondse bergingen, uitgevoerd door gemeenten. Tevens wordt een indicatie gegeven van de effectiviteit van de verschillende methoden. Dit hoofdstuk dient als basis voor verdere innovatie voor beheer en onderhoud. Eerst wordt een overzicht gegeven van verschillende typen vervuilingen. Vervolgens worden onderhoudsmethodes voor waterdoorlatende verharding en ondergrondse berging in kaart gebracht en wordt hun effectiviteit bij de verschillende typen vervuilingen besproken.

5.2. Soorten vervuiling

Vervuiling van infiltrerende en bergende verhardingen kan verschillende oorzaken hebben, zoals:

- ▶ Natuurlijke oorzaken: zwevend stof uit de atmosfeer, begroeiing, sediment, vergruizing, bladval en vervuiling uit omliggende groenstroken.
- ▶ Menselijke oorzaken: vuurwerk, werkzaamheden, slijtage banden, olie, belasting verkeer, wassen auto's.

In recent onderzoek naar de vervuiling van poreuze stenen (Lennart Droppert, 2019) is een bruikbaar onderscheid gemaakt naar verschillende typen vervuiling:

1. Fijn zand: Dit is zand en stof dat door verwaaiing op de toplaag terecht komt. Het kan van allerlei bronnen afkomstig zijn. Het kan ook van de stenen zelf afkomstig zijn, bijvoorbeeld door vergruizing. Belangrijk kenmerk is de korrelgrootte.
2. Grof zand: Dit is zand dat bijvoorbeeld door bouwwerkzaamheden op de toplaag komt of afkomstig is uit omliggende groenstroken.
3. Klei: Klei kan op de toplaag komen door bijvoorbeeld landbouwverkeer. Klei heeft de eigenschap dat het slecht waterdoorlatend is.
4. Vet/olie: Vet en olie zijn afkomstig van bijvoorbeeld marktkramen of auto's. Ze hebben een waterafstotende werking. Door de vloeibaarheid van olie zal olie langzaam wegzakken uit de verharding. Vet kan permanent de verharding verstoppert.

5.3. Onderhoudsmethoden waterdoorlatende verharding

Onderhoudsmethoden voor waterdoorlatende verharding zijn gericht op het reinigen van de toplaag van de verharding en de eventuele voegen. Verschillende reinigingsmethoden hebben een verschillend effect op deze vervuilingen. Reinigingsmethoden kunnen zelfs een averechts effect hebben doordat vervuiling dieper in de voegen of stenen wordt gebracht.

Uit interviews met de betrokken gemeenten bij dit onderzoek zijn de volgende vormen van beheer en onderhoud naar voren gekomen:

1. Borstel: Met een draaiende borstel wordt vuil van de toplaag opgeveegd en opgezogen. Dit is de meest voorkomende vorm van onderhoud met de bekende veegwagen.
2. Luchtcompressor: De luchtcompressor blaast op de toplaag met de bedoeling het vuil los te maken zodat het opgeveegd kan worden.
3. Hogedrukreiniger: Water wordt onder hoge druk op de toplaag gespoten met de bedoeling het vuil los te maken. Het water kan er voor zorgen dat vuil wordt opgelost.
4. Zuigen (hoge druk): Het vuil wordt onder hoge druk opgezogen. Dit gebeurt over het algemeen met een ZOAB reiniger.

5. Vervangen voegen: Wanneer bij een reinigingsmethode de voegen zijn verdwenen worden deze opnieuw gevuld. Dit gebeurt bij voegen die gevuld zijn met split.



Figuur 5-1: Veegwagen en ZOAB-reiniger

De effectiviteit van verschillende manieren van reinigen voor verschillende vervuilingen is op de Waterstraat in beeld gebracht door het onderzoek van Lennart Droppert in opdracht van TileSystems (2019). In dit onderzoek zijn losse klinkers vervuild met verschillende vervuilingen en gereinigd met verschillende reinigingsmethodes. In de onderstaande tabel zijn de voorlopige bevindingen weergegeven. Nader onderzoek is nodig en wordt in het vervolg van deze paragraaf beschreven.

Tabel 5-1: Verschillende reinigingsmethodes en hun effect op verschillende vervuilingen

	Blad	Fijn zand	Grof zand	Klei	Vet/ Olie	Voorlopige conclusie
Borstel	+	-	-	+	-	Vegen heeft over het algemeen weinig positieve werking op fijn en grof zand. Er is een groot risico dat vuil juist in de verharding wordt geveegd waardoor deze extra wordt verstopt. Als klei uitgedroogd is kan het wel goed weggeveegd worden
Lucht-compressor	+	--	+	+	+	Fijn zand wordt juist dieper in de verharding geblazen waardoor de verharding extra verstopt. Bij grof zand is de luchtcompressor wel effectief. Klei wordt, mits gedroogd, ook goed van de verharding afgeblazen. Omdat vet en olie hydrofoob zijn is de luchtcompressor een goede manier voor reiniging ten opzichte van een hogedrukreiniger.
Hogedruk-reiniger	+	+	+	+	-	Wanneer de vuildeeltjes kunnen oplossen in het water worden ze of van de verharding afgeblazen of worden ze er doorheen gespoeld (in geval van poreuze stenen of voegen). Omdat vet en olie hydrofoob zijn lossen ze niet op en verspreiden ze zich juist meer.
Zuigen (hoge druk)	+	+	+	+	?	Er zijn goede ervaringen met zuigen. Bij voegen die gevuld zijn met split worden deze opnieuw gevoegd, omdat de voegen over het algemeen worden meegezogen. De ZOAB-reiniger is gemaakt voor snelwegen waardoor deze methode in de stad vaak moeilijk toepasbaar is.

Uit bovenstaand overzicht blijkt dat:

- Vegen met de borstelwagen over het algemeen een averechts effect heeft op de infiltratiecapaciteit. Omdat deze conclusie is gebaseerd op onderzoek op losse klinkers is het aan te raden dit onderzoek ook voor een straat uit te voeren. Tevens geldt dat specifieke systemen, zoals Drainvoeg, hier een oplossing voor aanbieden. Hier blijft vuil boven op de voegen liggen en

kan dus niet de doorlatende voeg vervuilen (Drainvast B.V., 2020). Dit geldt ook voor de hieronder beschreven methodes

- ▶ De luchtcompressor is een goede methode voor grof zand, droge klei en vet/olie. Bij fijn zand en stof bestaat het risico dat deze juist dieper in de verharding doordringen
- ▶ De hogedrukreiniger heeft over het algemeen een positief effect op de meeste typen vervuiling, behalve op hydrofobe verontreiniging. De vraag is echter of het opgeloste vuil niet alsnog onder in de straatlaag terecht kan komen en de infiltratie toch nog kan verslechteren. Dit dient nader onderzocht te worden
- ▶ De ZOAB-reiniger is een effectieve manier van reinigen. Hier kleven echter praktische bezwaren aan door de grootte van de ZOAB-reiniger. Inmiddels zijn er veel verschillende soorten ZOAB-reinigers op de markt, zoals ZOAB-reinigers voor goten en kleine ZOAB-reinigers. Onderzoek is nodig naar kleinere en handzamere varianten en het functioneren bij droog en nat weer.

Als kanttekening dient genoemd te worden dat de gemeente Rotterdam ook uitgebreid onderzoek gedaan naar het in situ reinigen van doorlatende bestrating. In een afstudeeronderzoek van (Advokaat, 2016) is al gebleken dat het 'handmatig' vervuilen van bestrating andere afwijkende reinigingsresultaten geeft dan natuurlijke in situ vervuiling. Naast het benoemde vervolgonderzoek per reinigingsmethode kan ook vervolgonderzoek worden gedaan naar het voorkomen van bepaalde vervuilingen door een betere locatiekeuze van infiltrerende verharding of door regulering. Voorbeelden zijn: infiltrerende verharding niet naast groenstroken aanleggen en verbieden van het dumpen van bouwzand of tuinaarde op de stoep.

5.4. Onderhoudsmethodes ondergrondse berging

Over het algemeen geldt dat een dichtgeslibde ondergrondse berging moeilijk meer te reinigen is. Hierbij gelden dus vooral maatregelen om dichtslibbing te voorkomen. In het onderzoek 'Dichtslibben van infiltratievoorzieningen' (Rioned 2007) worden de volgende aanbevelingen gegeven voor het voorkomen van dichtslibbing:

- ▶ Stel een plan op voor het beheer van het stelsel en het aangesloten verhard oppervlak (hoge veegfrequentie bij marktterreinen, geen bestrijdingsmiddelen etc).
- ▶ Reinig de kolken en of andere voorzuiveringsvoorzieningen minimaal één tot twee keer per jaar.
- ▶ Inspecteer de systeemonderdelen (bladvang, zandvang/kolk, berging en overloop) in de eerste jaren frequenter en stel desgewenst de onderhoudsfrequentie bij.
- ▶ Stel een monitoringsplan op. Monitor de voorzieningen om inzicht te krijgen in de hydraulische en eventueel milieuhygiënische levensduur. Dichtslibbing manifesteert zich in een toename van de leeglooptijd. Beheer en documenteer de (meet-)gegevens eenduidig (bv: kd-waarde, type geotextiel, grondsamenstelling, aangekoppeld oppervlak, revisietekeningen, beheer, berging, klachten). Bepaal de nulsituatie direct na aanleg als uitgangspunt voor de overige meetperioden.

6. Huidige ontwerpeisen

6.1. Inleiding

Het doel van dit hoofdstuk is om inzicht te krijgen in de huidige ontwerpeisen die gemeenten nu stellen bij de aanleg van infiltrerende en bergende verhardingen.

Hiermee is literatuuronderzoek uitgevoerd en zijn er interviews bij onderzoekspartners en gemeenten uitgevoerd. Op basis van dit overzicht kunnen aanvullende ontwerpeisen worden opgesteld. De ontwerpeisen kunnen in de volgende categorieën worden ingedeeld:

- Eisen aan het infiltrerend en bergend functioneren van de verharding
- Standaardeisen ten aanzien van de opbouw en het profiel van de weg
- Eisen omtrent groenzones
- Eisen omtrent locatiekeuze
- Eisen bij het bouwen/aanleggen
- Eisen ten aanzien van burgermaatregelen

Deze categorieën worden in de volgende paragrafen nader uitgewerkt. In dit hoofdstuk is veel gebruikt gemaakt van de Handreiking Infiltrerende Verhardingsconstructies (Gemeente Deventer & Tauw, 2014)

6.2. Eisen aan infiltrerend, bergend en zuiverend functioneren

Afgekoppeld oppervlak

Vaak wordt een infiltrerende of bergende verharding aangelegd om een hoeveelheid water af te koppelen van de gemeentelijke riolering of om te zorgen voor noodberging bij zeer hevige neerslag (klimaatbuien). Gegeven de ruimte die beschikbaar is voor een infiltrerende of bergende voorziening geeft dit eisen aan de infiltratiesnelheid en de bergingscapaciteit.

Infiltratiesnelheid en bergingscapaciteit

Gemeenten kunnen ook specifieke eisen stellen aan de infiltratiesnelheid en de bergingscapaciteit. Er kan bijvoorbeeld worden gesteld dat een extreme bui van 80 mm per uur geen wateroverlast mag opleveren.

Zuiveren

Als het afgekoppelde water in de bodem wordt geïnfiltreerd kan een gemeente eisen stellen aan de waterkwaliteit. Er kan bijvoorbeeld geëist worden dat zware metalen of olie uit het water worden gefilterd. Dit wordt bijvoorbeeld gedaan door filters achter kolken te plaatsen of door een schelpenbed.

6.3. Standaardeisen opbouw en profiel weg

Een gemeente kan standaard eisen hebben voor de opbouw van een weg, het straatprofiel of voor het gebruik van een bepaalde type steen. Eisen die van belang zijn wanneer infiltrerende verharding wordt aangelegd zijn:

- ▶ Bolling in de straat: dit maakt de straat minder kwetsbaar voor vervorming. Hiermee wordt gruisvorming voorkomen. Gruisvorming kan een belangrijke factor zijn van verstopping.
- ▶ Toepassen van kalkvrije voegmaterialen. Kalkdeeltjes zijn belangrijke factoren bij verstopping.
- ▶ Scheidingsdoek: Scheidingsdoeken kunnen een vangnet zijn voor vervuiling, waardoor de verharding wordt verstopt. Er wordt dus aangeraden deze niet toe te passen of hier speciale eisen voor op te nemen.

6.4. Eisen groenzones

Door de vervuiling van aanwezige groenstroken raakt ongeveer de eerste 50 cm van de verharding over de gehele lengte van de groenstrook verstopt (zie onderstaande figuur). Het wordt dus aangeraden een buffer van tenminste 50 cm tussen de groenstrook en de infiltrerende verharding aan te houden. In het geval hier wel doorlatende verharding wordt aangelegd wordt aangeraden deze niet mee te rekenen in de infiltratiecapaciteit.



Figuur 6-1: Vervuiling van groenstrook

6.5. Eisen ten aanzien van locatiekeuze

Het succes van infiltrerende verhardingsconstructies is mede afhankelijk van de functie van de locatie. In deze paragraaf zijn diverse locaties onderverdeeld in drie categorieën [4]:

1. Een categorie waar infiltrerende verharding is af te raden.
2. Een categorie waar infiltrerende verharding onder voorwaarden mogelijk is.
3. Een categorie waar infiltrerende verharding mogelijk is.

Locaties waar infiltrerende verharding is af te raden

- ▶ Evenemententerrein: Tijdens evenementen vindt veel vervuiling van de verharding plaats. Het plaatsen van tenten, podia, hekwerken of attracties brengt schade aan de poreuze steen.
- ▶ Markten: Bij marktplaatsen is vaak sprake van vervuiling van de verharding. Het opzetten en afbreken van de marktkramen beschadigt de poreuze steen.
- ▶ Industriegebieden/bedrijventerreinen: Veel zwaar en wringend verkeer. Vervuiling door het lekken van oliën.
- ▶ Wegen met (land)bouwverkeer: Landbouwverkeer heeft modder en klei aan de banden wat zorgt voor vervuiling. Landbouwvoertuigen zijn zware voertuigen waardoor schade aan de verharding ontstaat.
- ▶ Wegen met een hoge intensiteit: Een hoge intensiteit van het verkeer zorgt snel voor schade aan de verharding.

Locaties waar infiltrerende verharding onder voorwaarden mogelijk zijn

- ▶ Centrumgebied: Veel bevoorrading middels zwaar en wringend verkeer is niet wenselijk. Parades, optochten of andere festiviteiten zorgen voor vervuiling. Wanneer achteraf grondig wordt schoongemaakt is een infiltrerende verhardingsconstructie mogelijk.

- ▶ Busroutes: Bussen vallen onder de categorie zwaar verkeer en rijden meerdere malen per dag exact dezelfde route. Bussen hebben een lage spreiding over de rijstrook waardoor ze iedere keer hetzelfde gedeelte van de rijbaan belasten, hierdoor ontstaat snel spoorvorming in de verharding. Geadviseerd wordt om niet sterk af te wijken van de intensiteitsnorm uit België van maximaal 20 zware en 500 lichte voertuigen per dag.
- ▶ Schoolpleinen: Schoolpleinen zijn geschikt voor infiltrerende verhardingsconstructies. Er dient echter rekening te worden gehouden met zandbakken op de pleinen. Het zand uit de zandbak kan er voor zorgen dat doorlatendheid van de waterdoorlatende steen afneemt.
- ▶ Parkeerplaatsen voor personenauto's: Afhankelijk van de intensiteit is een parkeerplaats geschikt. Wanneer de intensiteit te hoog is zorgt het wringende verkeer voor schade. Dit is bijvoorbeeld het geval bij winkelcentra of supermarkten.

Locaties waar infiltrerende verharding mogelijk is

Met name de intensiteit en het type verkeer is belangrijk om schade aan de verharding te voorkomen. Onderstaande locaties voldoen veelal aan deze eisen voor het gebruik:

- ▶ Woonstraten
- ▶ Pleinen
- ▶ Wandelstraten
- ▶ Fietspaden
- ▶ Voetpaden
- ▶ Opritten
- ▶ Terrassen

6.6. Eisen bij werkzaamheden

Bewoners zorgen door diverse werkzaamheden voor vervuiling van de verharding. Door bewoners goed op de hoogte te stellen en met borden aan te geven dat er een infiltrerende verharding aanwezig is kan veel vervuiling worden voorkomen (zie onderstaande figuur)

Werkzaamheden na aanleg zorgen ook voor verstopping van de infiltrerende verharding. Door te informeren en beschermende maatregelen te eisen kan vervuiling worden voorkomen (zie onderstaande figuur)



Figuur 6-2: Vervuiling van de verharding door storten van zand



Figuur 6-3: Vervuiling van de verharding door werkzaamheden

6.7. Eisen ten aanzien van burgermaatregelen

Zoals in voorgaande paragrafen is aangegeven kan verkeerd gebruik van een infiltrerende verharding tot veel verstopping leiden. Het is daarom raadzaam om burgers duidelijk te informeren over de aanwezigheid van infiltrerende verharding en regels op te stellen. Hierbij kan gedacht worden aan:

- ▶ Geen zand op de stoep leggen
- ▶ Geen zwaar verkeer bij verbouwingen
- ▶ Burgers betrekken bij het onderhoud

7. Referenties

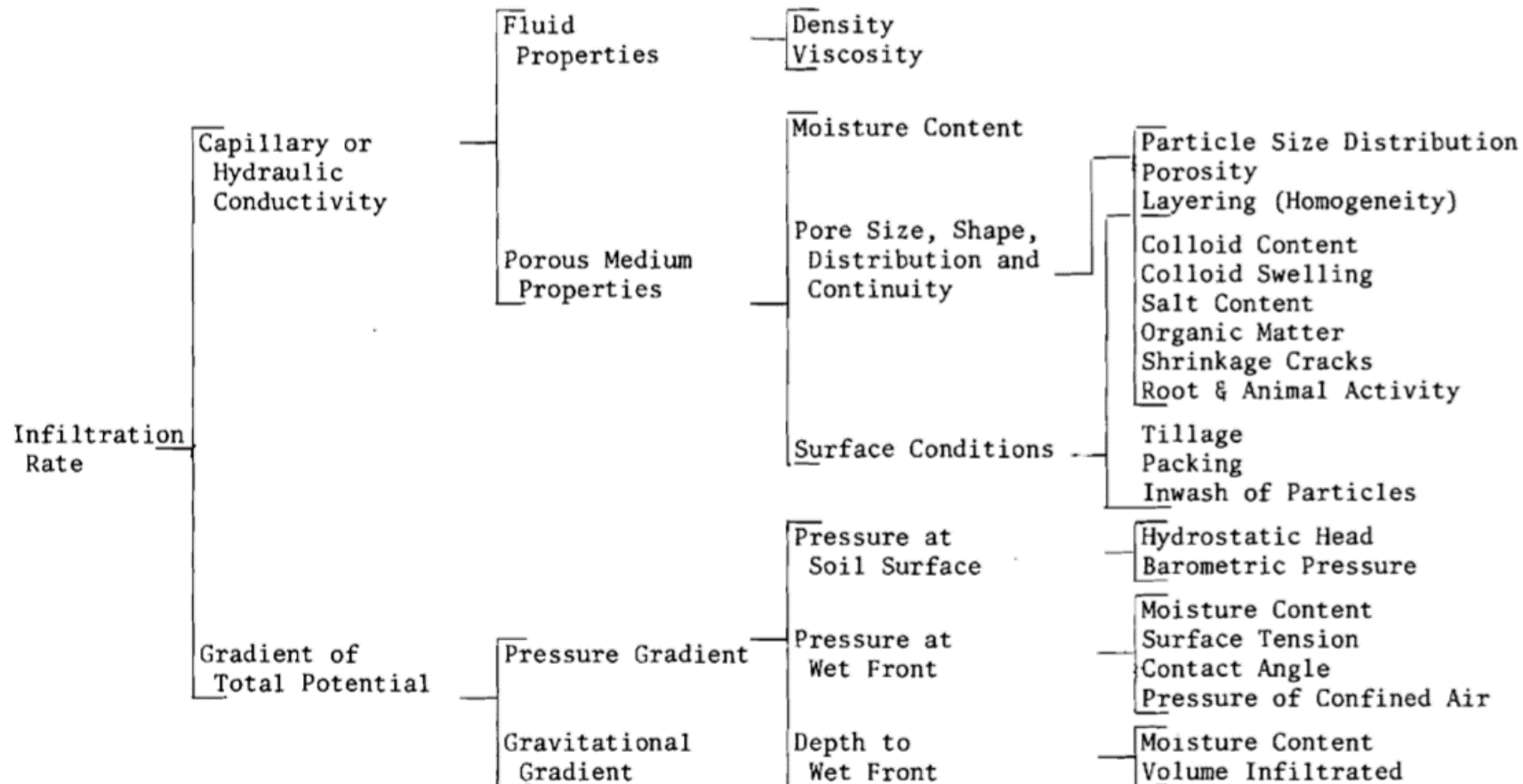
- Advokaat, J. (2016). *Het waterpasserend vermogen van waterpasserende verhardingen*. Rotterdam: Gemeente Rotterdam. Opgehaald van <http://rainaway.nl/wp-content/uploads/2017/03/Dichtslibbing-van-waterpasserende-verhardingen-J.-Advokaat-2016.pdf>
- Arar, D. A. (1989). *PROCESS DESIGN MANUAL FOR LAND TREATMENT OF MUNICIPAL WASTEWATER*. Rome, Via delle Terme di Caracalla.
- Arnold, C., Gibbons, & C.J. (2007). Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator. *Journal of the American Planning Association*, 62(2), 243-258. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1080/01944369608975688>
- Boogaard, F. (2015). *Stormwater characteristics and new testing methods for certain sustainable urban drainage systems in The Netherlands*. Delft.
- Boogaard, F., & Lucke, T. (2019, February 14). Long-Term Infiltration Performance Evaluation of Dutch Permeable Pavements Using the Full-Scale Infiltration Method. *Water - MDPI (CC BY)*, 13.
- Cultuurtechnische vereniging. (1988). *Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum (herziene uitgave)* (Vol. ISBN 90-9002366-6). Utrecht: Brouwer Offset B.V.
- Drainvast B.V. (2020). *Folder Drainvast*. Klein Zundert: Website: <https://www.drainvast.nl/downloads>.
- Droppert, L. (2019). *Stageonderzoek Vervuilen en reinigen van ZOAK stenen*. Tilesystems.
- Gray, D., & Norum, D. (1967). THE EFFECT OF SOIL MOISTURE ON INFILTRATION AS RELATED TO RUNOFF AND RECHARGE. *Proceedings of Hydrology Symposium 6*. National Research Council of Canada.
- Green, R. E. (1962). *Infiltration of water into soils as influenced by antecedent moisture*. 1962: Iowa State University.
- <https://nl.wikipedia.org/wiki/Wegverharding>. (2020, 03 09). Opgehaald van Wikipedia.
- Lucke, T., White, R., Nichols, P., & Borgwardt, S. (2015). A Simple Field Test to Evaluate the Maintenance Requirements of Permeable Interlocking Concrete Pavements. (Y. Jun Xu, Red.) *Water*, 7, 542-2554.
- Marcaida, A. K., Nguyen, T. H., & Ahn, J. (2018, December 19). Investigation of Particle-Related Clogging of Sustainable Concrete Pavements. *Sustainability - MDPI*.
- OCW. (2009). *Handleiding voor de uitvoering van verhardingen in betonstraatstenen*. OCW.
- Park, D.-G., Sandoval, N., Lin, W., Kim, H., & Cho, Y.-H. (2014). A Case Study: Evaluation of Water Storage Capacity in Permeable Block Pavement. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(2), 514-520.
- Ravi, V., & Williams, J. R. (1998). *Estimation of Infiltration Rate in the Vadose Zone: Compilation of Simple Mathematical Models*. Ada: EPA.
- Razzaghmanesh, M., & Beecham, S. (2018, maart 17). A Review of Permeable Pavement Clogging Investigations and Recommended Maintenance Regimes. *Water MDPI*.
- Rioned. (2007). *Dichtslibben van infiltratievoorzieningen, een verkenning van de hydraulische levensduur van infiltratievoorzieningen*. Rioned.
- Rotterdam, G. (2016). *Gemeentelijk Rioleringsplan*. Gemeente Rotterdam.
- Stichting Rioned. (2020, 03 09). Opgehaald van <https://www.riool.net/bui01-bui10>
- Stout, S, RoyalHaskoningDHV. (2011). *Verbreed gemeentelijk rioleringsplan Gemeente Terneuzen 2011 t/m 2015*. Terneuzen: Gemeente Terneuzen.
- Taguchi, V. J., Weiss, P. T., & et.al. (2020). It Is Not Easy Being Green: Recognizing Unintended Consequences of Green Stormwater Infrastructure. *Water - MDPI*.
- Tauw, G. D. (2004). *Handreiking Infiltrerende Verhardingsconstructies*. Deventer.

- Tota-Maharaj, K., Hills, C., & Monroe, J. (2017). *Novel permeable pavement systems utilising carbon-negative aggregate*.
- Unesco-IASH. (1969). Water in the unsaturated zone. In E. Wassink, & H. Rijtema (Red.), *Pocceedings of the Wageningen Symposium*. 1, p. 503. Leuven, België: Ceuterink.
- Viklander, M., Blecken, G., & Al-Rubaei, A. (2015). Long-term hydraulic performance of stormwater infiltration. *Urban Water*, 12, 660 - 671.
- Walker, M., Alston, K., Alpert, M., & Stein, C. (1981). *PROCESS DESIGN MANUAL FOR LAND TREATMENT OF MUNICIPAL WASTEWATER*. Ohio (Cincinnati): U. S. Environmental Protection Agency Center for Environmental Research Information.
- Walker, W. (1989). *Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems*. Rome: FAO.
Opgehaald van <http://www.fao.org/3/T0231E/t0231e00.htm#Contents>
- Wikipedia. (2020, Maart 2). <https://nl.wikipedia.org/wiki/Waterkringloop>. Opgeroepen op Maart 2, 2020, van Wikipedia.
- Winston, R., Al-Rubaei, A., Blecken, G., Viklander, M., & Hunt, W. (2016). Maintenance measures for preservation and recovery of permeable pavement surface infiltration rate--The effects of street sweeping, vacuum cleaning, high pressure washing, and milling. *Environmental Management*.

Bijlage 1: Factoren van invloed infiltratiesnelheid onverzadigde bodem (Gray & Norum, 1967)

Table 1

Factors Affecting the Infiltration Rate into Unfrozen Soil



Bijlage 2 Overzicht factoren die de werking van doorlatende verharding bepalen (omgeving & systeemeigen)

Functioneren infiltrerende verharding en innovaties in stedelijke waterketen beïnvloeden, verklaren of bedreigen

Legenda; mate van verwerking in kennisoverzicht

Ja	√	volledig binnen onderzoek
merendeel wel	¾	merendeel binnen onderzoek
soms	½	soms binnen onderzoek meer veel niet door ontbreken informatie
niet	-	niet meegenomen binnen onderzoek, moeilijk meetbaar of buiten scope

Fasen	Verantwoordelijke schakels proces	Processen, door mens stuurbaar	Sturingsmechanismen	Meetbare Variabelen	Functioneren	Herkenning falen	Monitoring
initiatief; keuze toepassen innovatie	gemeenten waterschap RWS	verkeersbelasting	- draagkrachtbepaling voorzieninge i.r.t. ondergrond - beperkingen verkeersborden communicatie	gewichtsklasse intensiteit snelheid ligging	- draagkracht bodem - geluid	¼ spoorvorming - kuilvorming - plasvorming - zetting en zakking y	X Y Z
ontwerp op (water)kwaliteitsaspecten	kwalitatieve aspecten	kwaliteit van afstromend water (vervuiling) aanvoervijze water voorkomen van vervuiling met opgeloste bodemdelen	- afkoppelen schoonregenwater - beperken uitlogende materialen scheiden van vuile en schone waterstromen maatregelen maatregelen die instroom van bodemdelen (moeten) voorkomen	PAK en olie zware metalen x bestrijdingsmiddelen nutriënten y opgelost bodemmateriaal (SS)	zuiverend vermogen	- chemisch - biologisch - ecologisch x y z - organisch - anorganisch	- waterkwaliteit afstromend water visueel microscopisch bodemonderzoek y z
ontwerp in ruimtelijke context	stedelijk ontwerpers buitendienst groen	hoogteligging grondwaterstand ondergrond afgekoppeld oppervlak	aan voorkant nadenken beperken en sturen belastingen in m3's als vuil		hydrologisch	¼ bergend vermogen - vertragend vermogen	
detailontwerp	bestekschrijver(s) d.m.v. voorschriften aan voorkant goede realisatie waarborgen	duidelijk omschrijving besteksfase x y z	- opbouw innovatie/ waterdoorlatende verharding	¼ verhardingslaag ¼ vulmateriaal ¼ funderingslaag1 ¼ geotextiel ¼ funderingslaag2 ¼ drainage ¼ ondergrond	hydraulisch	v infiltrerend vermogen	- poriënvolume ¼ Afmetingen per laag - specifieke adsorptie vermogen - voeggrootte - droog gewicht
Fasen	Verantwoordelijke schakels proces	Processen, door mens stuurbaar	Sturingsmechanismen	Meetbare Variabelen	Functioneren	Herkenning falen	Monitoring
realisatie	aannemers stratenmaker leverancier innovatie(s)	duidelijke instructie, toezien uitvoering opleiden en juiste instructie meedenken en meelopen bij realisatie					
gebruik	wegverkeer	beperkingen in sfeer van: bestrijdingsmiddelen snelheid leeftijd auto's gewichtsklasse tijdstippen gebruik weg					
beheer	bewoners	tuinaanleg; 2do's stimuleren opschonen tuin van bladeren aanvullen door Anne en onderzoekers en Pi studenten					
onderhoud	gemeenten	type beheer periodiciteit onderhoud	vegen borstelen HVAC Vacuümzuigen Hogedruk aanvullen door Anne en onderzoekers en Pi studenten				

Bijlage 3: Meetprotocol Infiltratieproeven Full-scale testmethode

Bijlage 4: Full-scale testmethode algemene beschrijving testopzet

Meetprotocol Full scale Infiltratiemeting

Rutger van Hogezaand, Andy Bruijns

Versie juli 2019

Vertaling van 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.](#)

A) Vooronderzoek:

- A1) Leverancier Infiltrerende constructie
- A2) Werking aanwezige constructie
- A3) Jaar van aanleg
- A4) Grondwaterstand t.o.v. maaiveld indien vindbaar
- A5) Bodemlaag (Dinoloket)
- A6) Afwatering
- A7) Aanwezigheid van riolering
- A8) Historie wateroverlast in en/of rondom het proefgebied

B) Proeflocatie beschrijven (metadata) + fotograferen

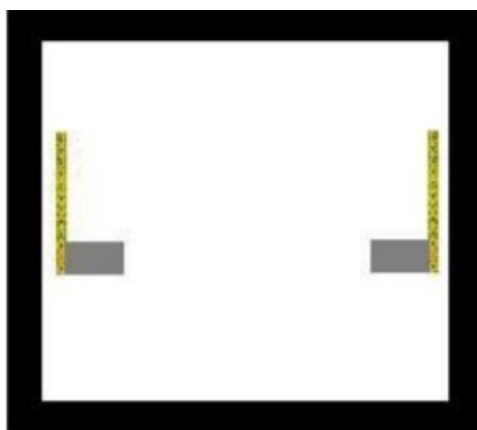
- B1) Aantal bomen en grootte van de bladeren en andere typerende afzettingen (Noten, bloemen etc.)
- B2) Overige vegetatie beschrijven (struiken, plantsoenen, onkruid, etc.)
- B3) Onderhoudssituatie beschrijven (Bladeren, afval, spoorvorming, maten van dichtslibbing, staat van de constructie (gebroken stenen, olievlekken)
- B4) Grootte van de voegen in centimeters, neem het gemiddelde van 10 voegen. Maak een foto van het bovenaanzicht van de proefopstelling (gebruik hiervoor een evt. statief)
- B5) Verkeersdrukke
 - 1-2 voertuigen passeren per minuut
 - 3-4 voertuigen passeren per minuut
 - 5+ voertuigen passen per minuut, namelijk Voertuigen
- B6) Beschrijf de afwatering in het gebied (Type riolering, aanwezigheid kolken, bassins, etc.) Controleer de aanwezigheid van putten en dicht deze zo nodig af. Doe dit in overleg met de gemeente/beheerder.

C – Uitvoering meting

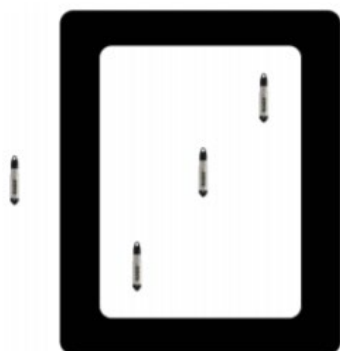
- C1) Zet de proeflocatie af
- C2) Maak een grondboring tot minimaal 100 centimeter, maar liefst 20 cm onder grondwaterstand.
 - Beschrijf de opbouw van de boorkern Fotomoment
 - Meet de grondwaterstand t.o.v. maaiveldhoogte als er water is aangetroffen
- C3) Opzetten meetlocatie
 - Zandzakken op zeil plaatsen. Goed aansluiten. Maak gebruik van stoepranden of verkeersdrempel. Waterdicht maken door aan binnenkant van zwembad zand te leggen op zeil en daarna afsluiten. Dit zal er als volgt uit komen te zien:



- Tankwagen positie bepalen, zo dicht mogelijk naast het vlak.
- Plaats meetlatten. Verspreid op de volgende manier:



- Maak divers gereed en stel meetfrequentie zo klein mogelijk in (maximaal 30 sec)
- Plaats 3 divers in infiltratievlak, 1 barodiver naast infiltratievlak. Zie opstelling



C4) Uitvoeren metingen

- Storten water op het infiltratievlak.
- Controleer op lekkage



- Vul infiltratievlak tot circa 10 cm.
- Controleer of divers onder water blijven liggen
- Start meting nodig:
 - o 1 opschrijver
 - o 2 meetlat aflezers (ook controle lekkage)
 - o 1 tijdwaarnemer
- Start stopwatch en meet om de halve minuut de waterstand bij de 2 meetlatten.
- Eind meting nadat al het water in de verharding is geïnfiltreerd (10-30 minuten)
- Noteer starttijd, eindtijd en waterstanden
- Herhaal de meting (in totaal liefst 3x)

C5) Doorlatendheid onderliggend materiaal (vlijlaag meten)

- Licht 1 steen
- Noteer de opbouw van vlijlaag
- Giet 500 ml water op onderliggend materiaal
- Meet de tijd totdat al het water is geïnfiltreerd

Bijlage 5: Rioned ontwerp buien (Stichting Rioned, 2020)

Standaardbuien (verloop in mm/5 minuten), piek voor (v) of achter in (a) de bui

Neerslagintensiteit (l.s ⁻¹ .ha ⁻¹)										
Tijdvak (min)	Herhalingstijd (jaar) en buinummer									
	v 0.25	a	v 0.5	a	v 1.0	a	v 2.0	a	5.0	10.0
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
0-5	10	5	10	5	10	5	20	10	50	60
5-10	20	5	20	10	20	10	40	20	90	120
10-15	30	5	30	15	50	15	70	30	160	210
15-20	40	10	50	20	90	20	110	40	160	210
20-25	50	15	70	25	90	25	110	50	140	190
25-30	50	20	70	30	70	30	90	70	110	160
30-35	35	25	50	35	50	35	70	90	90	120
35-40	30	30	40	40	40	40	50	110	70	80
40-45	25	35	35	50	35	50	40	110	50	40
45-50	20	50	30	70	30	70	30	70	30	
50-55	15	50	25	70	25	90	20	40	20	
55-60	10	40	20	50	20	90	10	20	10	
60-65	5	30	15	30	15	50				
65-70	5	20	10	20	10	20				
70-75	5	10	5	10	5	10				

Bijlage 6: Aanzet lesmateriaal theoretische achtergronden infiltratie

Het natuurlijk systeem

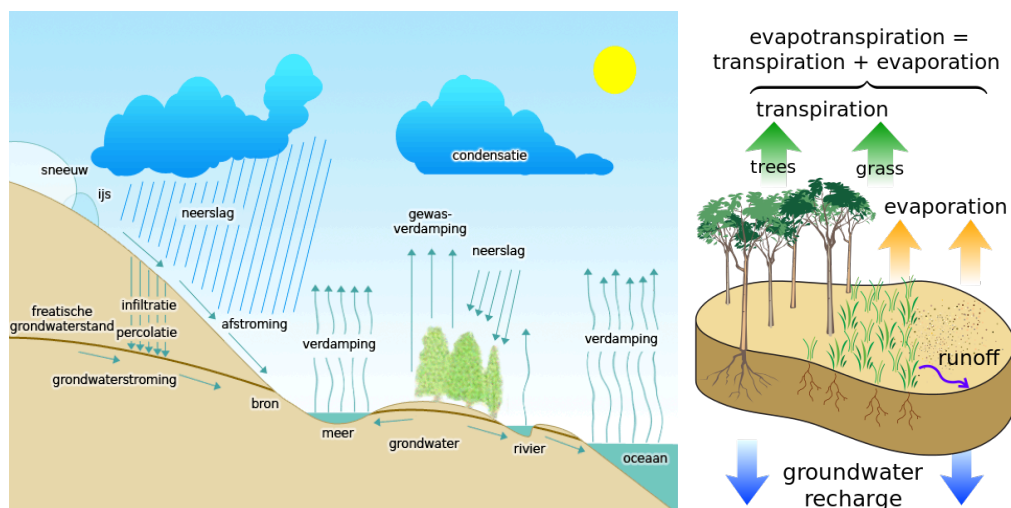
De waterkringloop, hydrologische cyclus of watercyclus is een biogeochemische kringloop en beschrijft alle processen waarbij water door het systeem Aarde circuleert. Hierbij verdampt oppervlaktewater, zoals zeewater. In de atmosfeer vormt deze damp wolken waaruit neerslag valt. Deze komt terug op aarde in waterwegen, of zakt weg als grondwater. Een groot deel verzamelt zich weer als oppervlaktewater.

Met deze neerslag kunnen drie dingen gebeuren:

1. de neerslag wordt niet opgenomen door de bodem en loopt als oppervlaktewater, door rivieren en andere watergangen terug naar zee.
2. de neerslag wordt opgenomen door de bodem (infiltratie) en komt via het grondwater uiteindelijk terug in zee.
3. de neerslag verdampt, al dan niet na eerst door planten te zijn opgenomen (evapotranspiratie).

De kringloop is hiermee rond. Wanneer gesproken wordt over de waterkringloop dan valt onderscheid te maken in de tijd die het water nodig heeft om terug te keren van de bron (zee). Bij een korte kringloop zijn er geen processen aanwezig om regenwater te afstroming naar zee te laten komen terwijl er bij een lange kringloop één of meerdere processen zorgen voor “een extra lus” waardoor het water via die processen er langer over doet om tot afstroming naar zee te komen.

Bijvoorbeeld het water wordt vanuit het grondwater door planten en bomen opgenomen en verdampt weer door de bladeren zodat dit weer als waterdamp in de lucht beschikbaar komt. Ook het oppompen van water vanuit grondwater voor drinkwatergebruik zorgt voor een verlengde waterkringloop.



Wikipedia, *Waterkringloop*, geraadpleegd op 2 maart 2020, op <https://nl.wikipedia.org/wiki/Waterkringloop>.

De aanwezigheid van bijvoorbeeld stedelijk gebied kan zorgen voor een ondermijning van het natuurlijke afstroombproces van water.

Doorlatendheid van natuurlijke bodem

Het infiltrerend vermogen van een onverharde bodem wordt omschreven als de neerwaartse snelheid waarmee het water door de bodem treedt. De infiltratiesnelheid is de hoeveelheid water die (maximaal) door de bodem kan worden geabsorbeerd wanneer er zich een bepaalde deel (regen)water op de bodem aanbiedt (Walker, Alston, Alpert, & Stein, 1981).

Voor de infiltratiesnelheid is in algemene zin de snelheid waarmee water door een medium kan stromen en afhangt van de mate van verzadiging:

1. **onverzadigde condities** zijn de gevallen waarbij dat de poriën van de bodem geheel droog of deels gevuld zijn met water. Het betreft de bodemzone die boven de grondwaterspiegel ligt en dus gevuld is met water. In deze situatie zal bij een wateraanbod behalve het vullen van de poriën ook een verplaatsing van het water optreden en is in die gevallen de snelheid waarmee het water verplaatst de optelsom van beide processen.
2. **verzadigde condities** zijn die gevallen waarbij de alle poriën gevuld zijn met water is sprake van een soort van gemiddelde snelheid waarmee het water door het medium kan vloeien. In dergelijke gevallen is sprake van grondwater en stroomt het water met een uniforme snelheid volgens de wet van Darcy. In dergelijke situaties (voor het gemak) gesteld worden dat het water met een vaste snelheid door het medium stroomt de doorlatendheid van de bodem (hydraulische geleidbaarheid (EN Hydraulic Conductivity)).

De doorlatendheid van de bodem in geval **verzadigde condities** is grotendeels afhankelijk van volgende zaken:

- de bodemopbouw in verticale richting
- bodemtextuur en korrelgrootteverdeling
- het poriëngehalte

Behalve bovengenoemde zaken kan ook de wijze waarop de korrels zijn gestructureerd van belang. In sommige gevallen kunnen fijnere bodemsoorten met een uniforme rangschikking van de korrelstructuur, in termen van ruimtelijke verdeling, hogere doorlatendheden vertonen dan bodemsoorten met een hogere korrelgrootteverdeling die niet uniform zijn gestructureerd. Als laatste kunnen ook factoren als organisch stof de temperatuur, of van lucht die gevangen kan raken (Walker, Alston, Alpert, & Stein, 1981). Ook de ion samenstelling bijvoorbeeld Cl^- , OH^- , Ca^{2+} , CO_3^{2-} van het water alsmede de aanwezigheid van organisch stof bijvoorbeeld in de toplaag en of opgesloten lucht (EN: "entrapped air") kunnen van invloed zijn op het stromingsgedrag van water door de bodem (Unesco-IASH, 1969) .

Samenvattend is de doorlatendheid van een bodem dus afhankelijk van:

- De staat van de bodem die onderzocht wordt onverzadigde of verzadigde conditie;
- Bodemeigenschappen; zijnde de bodemopbouw van de verschillende aanwezige lagen, de bodemtextuur korrelgrootteverdeling, het poriën gehalte;
- Evt. aanwezigheid van organisch materiaal;
- Ruimtelijke verdeling (structuur) van het materiaal in het 3-dimensionale vlak;
- De temperatuur van de bodem en het water;
- Specifieke ionensamenstelling;
- Evt. opeenhoping van lucht die in het medium gevangen kan raken wanneer water aanvoert door potentiaalverschillen.

De 'gemiddelde' verzadigde doorlatendheid

In geval van grondwaterstroming bij volledige verzadiging van poriën of indien de toplaag dusdanig lang is voorzien van water wordt gesproken over 'gemiddelde' verzadigde doorlatendheid. Daarvoor kan de theorie uit in geval van bodemsamenstelling met verschillende lagen kan gebruik gemaakt worden van een gemiddelde doorlaatfactor k voor het totale pakket namelijk de gemiddelde doorlaatfactor kan als volgt worden berekend van de volgende theorie:

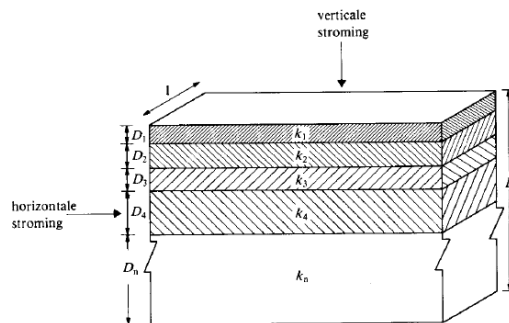
a. bij horizontale stroming

$$\bar{k} = \frac{k_1 D_1 + k_2 D_2 + \dots + k_n D_n}{D} \quad (4.1.9)$$

b. bij verticale stroming

$$\bar{k} = \frac{D}{\frac{D_1}{k_1} + \frac{D_2}{k_2} + \dots + \frac{D_n}{k_n}} \quad (4.1.10)$$

*Figuur 4.1.6.
Berekening gemiddelde
doorlaatfactor.*



Theorie voor het berekenen van de 'gemiddelde' verzadigde doorlatendheid in geval van bodemsamenstelling met verschillende laagopbouw (

Onverzadigde doorlatendheid

Wanneer men de stroming van water in de grond in onverzadigde toestand wil bepalen dan doet zich de situatie voor dat de stroming van water zich anders gedraagt dan verzadigde stroming waardoor het moeilijk op voorhand te zeggen is wat de doorlatendheid van bodem is. In het algemeen is dit afhankelijk van het gedrag van de beschouwde bodem in geval verzadiging en afhankelijk van basale bodemvochtprincipes die voornamelijk zijn onderzocht voor irrigatiedoeleinden (Walker W. , 1989) te weten:

- Bodemvochtgehalte; de watervoorraad aan water opgeslagen in de bodem;
- Doorlatendheid van de bodem als het gaat om stroming van water en lucht;
- Fysieke kenmerken van de bodem, zoals het gehalte aan organische stof, diepte, textuur en structuur;
- Chemische eigenschappen van de bodem, zoals de concentratie van oplosbare zouten, voedingsstoffen en sporenelementen.

In deze conceptuele voorstelling wordt infiltratie gedefinieerd als het proces waarbij water in de bodem treedt op de overgang van atmosfeer naar bodem ter hoogte van het maaiveld als gevolg van zwaartekracht. Capillaire krachten, of matrische potentialen (aantrekkingskracht van de bodemdelen), zijn dominant in deze fase. Daarna vindt een herverdeling van water (redistributie) plaats. Gedurende de herverdeling van water, zijn zowel capillaire als gravitatie-effecten zijn belangrijk. Als laatste vindt tijdens het herverdelen van water ook afvoer naar diepere ondergrond plaats in deze fase, ook de

diepere bodemdelen worden vochtiger. Het uitmiddelen van vocht over bodemmatrix wordt hysteresis genoemd.

Hysteresis is het verschijnsel dat de bevochtigings- en droogcurven van een specifieke grond zal niet identiek zijn. Wanneer het gaat om de infiltratiecapaciteit van niet verzadigde bodems dan zijn voor het bepalen van de doorlatendheid van een onverzadigde bodem verschillende zaken van belang namelijk:

1. het initiële vochtgehalte voordat peilopzet door neerslag of het uitvoeren van een praktijkproef van belang;
2. capillaire werking aantrekkingskracht van bodemdelen waardoor water aan bodemdelen optrekt/ vastgehouden wordt;
3. de doorlatendheid van de bodem indien deze volledig is verzadigd

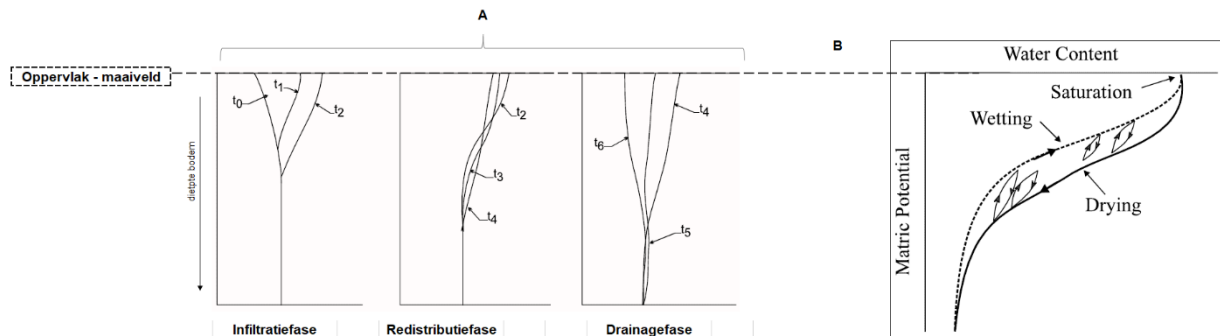
Namelijk nadat water zich aanbied op het maaiveld/ bodemoppervlak zal het vochtgehalte in de bodem toenemen en daarmee bepalend zijn voor de snelheid waarmee het water wordt opgenomen in de bodem op moment:

- t_0 is de initiële vochttoestand droog, het vochtgehalte is relatief laag en als gevolg daarvan kan de bodem het water met maximale snelheid opnemen;
- t_1 neemt het vochtgehalte door infiltratie toe op dit moment is de infiltratiesnelheid nog hoog doordat opname van water door bodemdeeltjes nog goed plaatsvindt, het water neemt plaats de lege poriën van de bodem;
- t_2 gaat zicht een evenwichtssnelheid instellen (voor de infiltratiesnelheid), nadat al het water is opgenomen in de poriën zal het water in de diepte een andere gaan positie innemen (als gevolg van zwaartekracht);
- t_3 : zal er een herverdeling van water capillaire werking en zwaartekracht plaatsvinden en andere vochtsamenstelling optreden in de diepte optreden. Het water zakt uit naar diepere delen het vochtgehalte verdeelt zich meer in verticale sfeer;
- t_4 nu bereikt zich een evenwicht in capillaire krachten en zwaartekrachtprocessen op watermassa en zal op dit moment herverdeling van water plaatsvinden en transitie naar afvoer optreden door drainage;
- t_5 nu zal er een verdere afname van bodemvocht over diepte optreden door waterafvoer naar diepere ondergrond en grondwater over het gehele diepteprofiel zal op een gegeven moment het bodemvochtgehalte overal (nagenoeg) gelijk raken;
- $t_{6.1}$ bij uitblijven van water zal het bodemvochtgehalte afnemen door uitzakken van water in de lager gelegen bodemdelen het watergehalte in de diepere delen is hoger dan de bodemdelen die meer hogerop in het bodemprofiel liggen;
- $t_{6.2}$ als laatste zal (bij nog langer uitblijven van neerslag) de bodem nabij de oppervlakte verdere opdrogen en terugker vanuit t_6 naar t_0 de bodem is in staat meer water op te nemen dan bij een verzadigde conditie, deze situatie zal optreden mede door verdampingsprocessen uit bodem of opname van water door evt. planten.

Het proces van de toe -en afname van het vochtgehalte wordt ook wel de sponswerking van de bodem genoemd (hysteresis), het moge duidelijk zijn dat hierdoor bij een onverzadigde situatie van de bodem er een andere infiltratiecapaciteit is dan bij een verzadigde toestand.

Het is belangrijk om te weten dat bij de beweging van water door een bodempakket de conditie van het bodemsysteem (verzadigd of onverzadigd) in relatie tot het wateraanbod bepalend is hoe het water zich gedraagt in termen van de snelheid waarmee het zich door de bodem verplaatst. De stroming van water in de onverzadigde zone (ook wel vadosezone genoemd) wordt kan worden

voorgesteld als drie fasen namelijk infiltratie, redistributie en drainage of percolatie naar diep grondwater zoals hieronder geïllustreerd.



Schematische weergave van het vochtgehalte na een situatie waarin als gevolg van neerslag -of bij uitvoering meting- het vochtgehalte in het bodemprofiel is weergegeven. De zwarte lijnen in de linker figuur A geven het bodemvochtgehalte weer over de diepte. In figuur B is het hysteresis van bodemvocht in een bodemmatrix weergegeven en laat zijn dat als gevolg van water er een bepaald deel aan water in de bodem opgeslagen wordt (sponswerking bodem). De figuren zijn enigszins vertaald en waar nodig aangepast naar voorbeeld van (Ravi & Williams, 1998).

Er zijn verschillende wetenschappelijk benaderingen om de doorlatendheid van onverzadigde bodem te beschrijven. Allen zijn tal van empirische benadering die op haar beurt zijn gebaseerd op de Richards model, dit is vergelijking waarmee de stroming van water in 1-dimensionale (verticale) richting onverzadigde niet-zwellende bodems kan worden gedefinieerd en betreft een differentiaalvergelijking die niet op één wijze convergeert tot een oplossing. Om in algemene zin het gedrag van water toe te lichten in hoe het water zich gedraagt over de diepte van het bodemprofiel hiervoor is gebruik gemaakt van (Ravi & Williams, 1998).

Voor het oplossen van het “bodemvochtprobleem” van Richard zijn verschillende empirische vergelijkingen opgesteld om de infiltratiesnelheid van water in de onverzadigde zone te beschrijven. Meest bekend zijn de formule van Horton en Philips. Beide veronderstellen dat de infiltratiesnelheid afneemt in de naarmate in de tijd wanneer er bodemvocht wordt toegevoegd aan een bodem matrix en veronderstellen dat uiteindelijk een vaste snelheid van de infiltratiesnelheid wordt bereikt in de tijd.

$$\text{Horton: } f(t) = f_c + (f_0 - f_c)^{-Kt}$$

Waarbij:

f_t = de infiltratiesnelheid op tijdstip t

f_0 = de maximale infiltratiesnelheid die op tijdstip t_0 het grootst is

f_c = is constante infiltratiesnelheid in verzadigde conditie (minimale infiltratiesnelheid)

K = specifieke doorlatendheid van de bodem

$$\text{Philips: } f(t) = \frac{1}{2} S^* t^{1/2} + K$$

waarbij:

f_t = de infiltratiesnelheid op tijdstip t

S = de capaciteit van de bodem om water op te nemen (EN: Sorptivity)

K = specifieke doorlatendheid van de bodem

Zowel in geval van neerslag als bij het uitvoeren van metingen is het infiltratieverloop voor onverzadigde conditie dus niet uniform in de tijd. Bij uitvoering van metingen is in de tijd vrijwel altijd

een holle curve in de infiltratiesnelheid en volgt het daarmee de empirische benaderingen van de Philips en Horton.

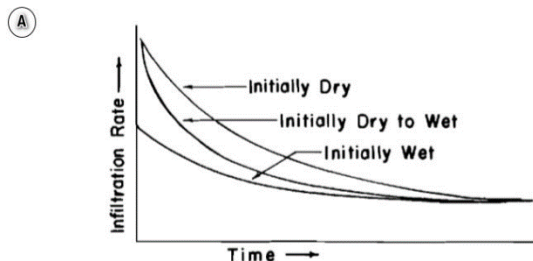
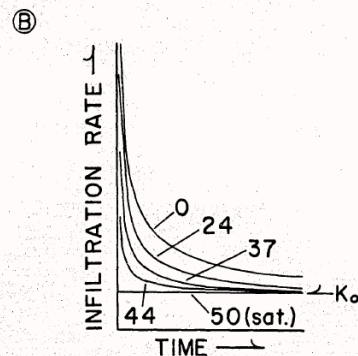
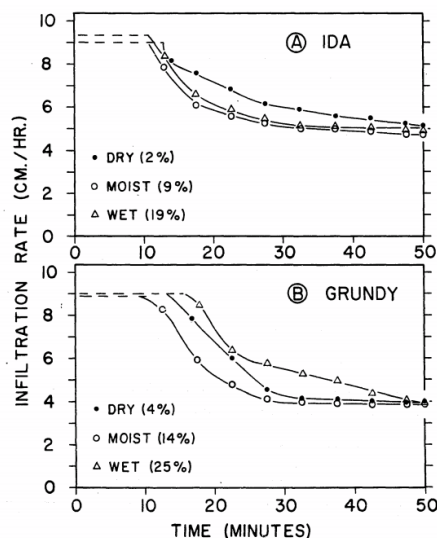


Fig. 5 Schematic Representation of the Effect of Soil Moisture on Infiltration Rates



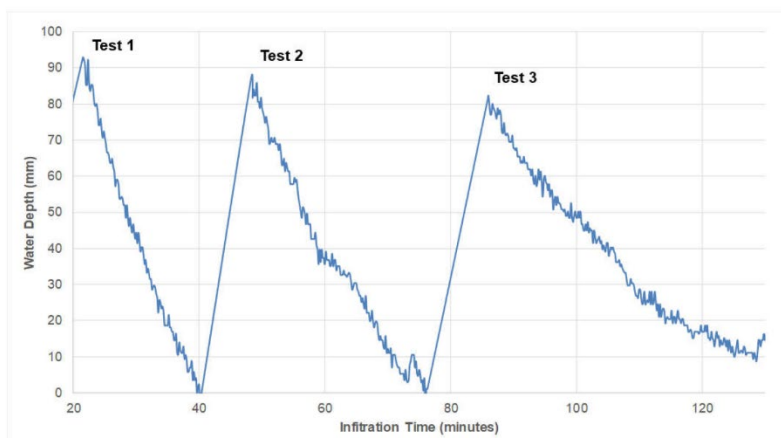
Weergaven van het theoretisch verloop de infiltratiesnelheid in A tijd bij een bepaald vochtgehalte en B het bereiken van een de gemiddelde infiltratiesnelheid wanneer een verzadigde situatie wordt bereikt de getallen in figuur B corresponderen met het vochtgehalte en de infiltratiesnelheid die veronderstelt mag worden conform theorie van Philips (Green, 1962).

Om dit te illustreren met praktijkvoorbeelden van metingen wordt verwezen naar de figuur onderaan de volgende bladzijde. Hier is duidelijk te zien dat de infiltratiesnelheid afneemt bij verzadiging van de onderzochte (verharde) bodem.



Illustratie van het infiltratieverloop van twee soorten bodemsoorten met een schematische weergave van het hystereseproces waarin aangegeven is de potentie is voor bodemmatrix vocht op te nemen.

Net als bij onverharde bodems blijkt dat het infiltratievermogen van infiltrerende verharding afhankelijk is van het aanwezige vochtgehalte. Bij herhaling van meerdere proeven achter elkaar neemt het infiltrerende af. Het "antecedent" bodemvochtgehalte speelt net als bij niet verharde bodem een belangrijke rol. Bij een herhaald aanbod van water (door praktijkproeven) neemt de infiltratiesnelheid gemiddeld ca. 40% in geval van een tweede herhaling en in geval van een derde herhaling naar een ca. 65% lagere infiltratiesnelheid.

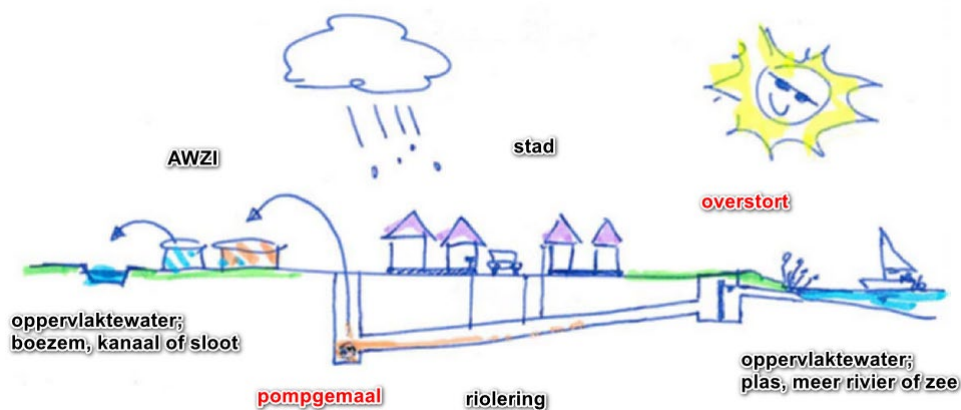


Het infiltratieverloop van één specifieke met de testresultaten van de infiltrerende verharding in gemeente Goirle waarvoor herhaaldelijk het infiltratievermogen is gemeten ().

Stedelijk gebied en invloed hydrologisch kringloop

Verstedelijking gaat vaak gepaard met een toename aan het totaal verhard oppervlak zoals wegverharding, parkeerplaatsen dakoppervlak en tuinen (met verharding). Hierdoor infiltreert een kleiner deel van het regenwater naar de bodem een treedt in stedelijk gebied een verhoogde/ snellere oppervlakkige afvoer op (Arnold, C.L.; Gibbons, 1996).

De stedelijke waterkringloop is geen gesloten systeem. De door de mens gecreëerde stedelijke waterkringloop lijkt op het eerste gezicht heel efficiënt en was en is voor het grootste deel nog steeds gericht op de snelle afvoer van regenwater en het huishoudelijke afvalwater naar de rioolwaterzuivering of het oppervlaktewater. Neerslag die op verharde oppervlakken valt, wordt nog meestal via het riool afgevoerd. Dit gebeurt voornamelijk in oudere stadsdelen door middel van een gemengd stelsel. Voor nieuwbouwwijken wordt tegenwoordig als standaard een gescheiden stelsel of een verbeterd gescheiden gebruikt. Het gemengde rioolstelsel is erop gericht het afvalwater samen met het regenwater zo snel mogelijk af te voeren. Bij het gemengde stelsel wordt het afvalwater samen met het regenwater naar de zuivering geleid, aldaar gezuiverd en het gezuiverde effluent wordt vervolgens op het oppervlaktewater geloosd. Bij zware neerslag kan het gebeuren dat de zuivering onvoldoende capaciteit heeft en het afvalwater samen met het regenwater direct op het oppervlaktewater wordt geloosd met als consequentie vervuiling van het oppervlaktewater³.



³ Zoekwoorden: hydrologische kringloop stedelijk gebied, <https://nl.urbangreenbluegrids.com/water/> opgeroepen op 02-03-2020

schematische weergave van de waterafvoer voor stedelijk gebied. De zwarte tekst geven de belangrijkste onderdelen in de stedelijk waterkringloop, de rode tekst geeft weer hoe water wordt afgevoerd naar oppervlaktewater (figuur; overgenomen en aangevuld van Stout, S; 2011).

Via de wet Milieubeheer (artikel 4.22) is in Nederland geregeld dat gemeenten zorgdragen voor het beheer van stedelijke afvalwater. Middels de Waterwet zijn extra geregeld namelijk de zorgplicht voor het hemelwater (Waterwet, artikel 3.5) en grondwater (Waterwet, artikel 3.6). Gemeenten leggen middels een Verbreed Gemeentelijk Rioleringsplan (VGRP) hoe ze invulling geven aan deze zorgplichten.

De laatste jaren wordt door gemeenten daardoor steeds meer prioriteit gegeven om regenwater uit de gemeentelijk watersysteem behandelen. Dit vraagt van de genoemde overheidsinstantie dat ze beter nadenken over de ruimtelijke planning, realisatie en onderhoud van wegen of verantwoordelijk voor zowel bestaand stedelijk gebied als ook bij realisatie van nieuwe stedelijke ontwikkelingen. Om te voorkomen dat regenwater versneld afvoert is er meer een integrale aanpak noodzakelijk binnen het stedelijk watersysteem met name op het niveau van stedelijke planning en het beheer (Nichols P.W.B et al, 2014). Verschillende nederlandse steden hebben daarom al actief beleid geformuleerd om tot een komen tot een integraler watersysteem zodanig dat in de toekomst die steden beter leefbaar zijn (en staan bekend als climate adaptation strategies). Toonaangevende voorbeelden daarvan zijn te zien in Rotterdam en Amsterdam waar ingezet wordt op herontwerp van rioleringsystemen en staan internationaal bekend als SUDS: Sustainable Urban Drainage Systems (Boogaard, 2014 en Nichols P.W.B et al, 2014). Voorbeelden van SUDS zijn plasbermen voor opvang van (an)organische vervuiling (bioretention swales), waterpleinen, groene daken en verruiming van bergingscapaciteit voor riolering en open water (De Graaf et al., 2008).

Om het rioolsysteem te ontlasten is het streven om in de nieuwbouwwijken en stadsvernieuwingsgebieden te realiseren. De mogelijkheden van hergebruik worden nog nauwelijks benut maar zijn wel als een beleidsdoelstelling opgenomen in het Nationaal Waterplan aandacht om te denken in lokaal sluiten van kringlopen, zoals in het concept van de “circulaire stad”. Hierin past het hergebruiken van regenwater voor huishoudelijke doeleinden

Traditionele wegverharding

Het toepassen van wegverharding is in stedelijk gebied een belangrijke manier om gebruikers op een veilige manier te garanderen in hun behoefte van bewegingsvrijheid te voorzien. Om de gemotoriseerde verkeerslast mogelijk te maken wordt de voorkomen dat de bodem te onomkeerbare wordt samengedrukt waardoor. kuilvorming, verzakking en plasvorming wordt tegengegaan. Daarom wordt van oudsher in stedelijk omgeving gebruik gemaakt van een breed spectrum aan verharding. De keuze van de toegepaste wegverharding is een combinatie van veel factoren de verkeersintensiteit de gewichtsklasse, de bodemsamenstelling en factoren als budget, duurzaamheid van toegepaste materiaal etc.

Wegverharding of het wegdek is de wijze waarop een weg is verhard. Wegverharding dient om de weg goed begaanbaar te houden, met name voor voertuigen zodat ongeacht de weersituatie zowel in droog als nat seizoen wegen begaanbaar worden blijven.

Wanneer gesproken wordt over wegverharding dan kent de wegverharding de volgende typische opbouw waarbij geredeneerd wordt van beneden (oorspronkelijke onverharde bodem) naar boven (wegvlak):

1. aardebaan
2. zandlaag (zand en menggranulaat) (bijvoorbeeld 500 mm dik)
3. puinfundering (bijvoorbeeld 200 mm dik)

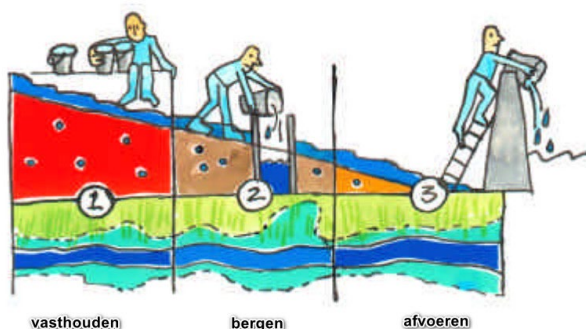
4. verhardingstype bijvoorbeeld asfalt of klinker met vulmateriaal (bijvoorbeeld 100 mm dik)

Voor het bereiken van een goede draagkracht wordt indien nodig voorafgegaan door grondverbetering, vaak bestaat dit uit het aanbrengen van een draagkrachtige funderingslaag (doorgaans in de vorm van zand) op een aardebaan die op haar beurt rust op oorspronkelijk bodem. (<https://nl.wikipedia.org/wiki/Wegverharding>, 2020)– enigszins herschreven).

Waterdoorlatende verharding

Een van de maatregelen om de hydrologische kringloop in stedelijk gebied te herstellen is het toepassen van infiltrerende verharding als wegverharding dit heeft als doel regenwater minder snel af te voeren en laten infiltreren naar de bodem en grondwater. Met name in geval van noodzakelijk onderhoud aan riolering doet zich voor bestaand stedelijk gebied de kans voor om actief in te zetten op het herstel van de stedelijke waterkringloop omdat op dat moment bij het onderhoud van riolering forse investering gemoeid zijn.

Op dat moment kan worden ingezet op maatregelen die het regenwater voordat het de riolering bereikt op te vangen te bergen en vertraagd af te voeren naar oppervlaktewater zodat invulling gegeven wordt aan wat in Nederland bekend staat als de trits “vasthouden, bergen en afvoeren” in het leven geroepen door Commissie Waterbeheer 21^e eeuw deze strategie heeft als doel wateroverlast zoveel mogelijk moet worden opgelost binnen het gebied waar de overlast veroorzaakt. Deze Commissie werd net voor de eeuwwisseling in het leven geroepen nadat in Nederland in het najaar van 1998 hevige neerslag zorgde voor flinke waterschade (690 miljoen euro) in het zuidwesten en noordoosten van Nederland.



Links: De trits waterbeheer 1. Vasthouden; 2. Bergen, 3. Afvoeren waarmee een meer integrale aanpak van watersystemen moe(s)t ontstaan (in stedelijk gebied), rechts de eenzame surfer Max van Noorden die als gevolg van wateroverlast door hevige neerslag surfend over A2 – E25 ging (Brabants Dagblad, John Claessens, 5 februari 1995).

Samenvattend was het advies van de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw dat er op bestuurlijk niveau meer tussen waterschappen en gemeenten moest worden samengewerkt wanneer het gaat om (her)ontwikkeling van stedelijk gebied en dat er meer aan de voorkant van het watersysteem geld, ruimte en beleid gemaakt moest worden om wateroverlast te voorkomen. Een belangrijk beleidsinstrument dat vandaag de dag nog steeds bestaat is het watertoetsproces.

Als het gaat om het herstellen van de natuurlijke hydrologische kringloop -lees implementatie van de trits waterbeheer- moet actief gebruik gemaakt worden ruimtelijke en technische oplossingen in de stedelijke waterketen bijvoorbeeld door regenwater actief af te koppelen van het rioleringsstelsel.

Eén van de maatregelen was destijds het aanleggen van waterdoorlatende verharding SUDS, circa 20 jaar na het aanleggen van de eerste typen doorlaten verharding ontstaat de vraag hoe goed deze verhardingen nog werken en als deze niet meer goed blijken te werken welk type onderhoud het meest effectief is om het geïnvesteerd budget niet verloren te laten gaan? aanleiding van project infiltrerende stad?

Het infiltrerend vermogen (EN: permeability) van verhardingen is een belangrijke maat om inzicht te krijgen in de huidige staat van de onderzochte verharding. De mate waarin water infiltreert door de verharding geeft inzicht of het voor de onderzochte voorziening noodzakelijk is onderhoud uit te voeren (Lu et al, 2019). Bij een te lage infiltratie capaciteit kan sprake zijn van vervuiling en is het waarschijnlijk dat de voorziening toe is aan onderhoud.

Functioneren infiltrerende verharding

Hydrologische factoren

De toepassing van innovaties in de stedelijke waterketen hebben haar oorsprong in het herstellen van de waterbalans. Zoals al eerder genoemd wordt hierbij gewerkt volgens de trits vasthouden, bergen afvoeren en zal bij toepassing van waterdoorlatende verharding of nieuwe innovaties een herstel van de hydrologische kringloop worden nagestreefd. In het verleden werd veel vanuit de ontwerpnormen voor riolering ontworpen en was het gebruik van Bui08, Bui09 en Bui10 meest gangbaar. De verwachting is dat door klimaatverandering buien intenser worden en zal naar gelang de ambitie/budget van de initiatiefnemers gerekend worden met intensere buien. Algemeen kan worden gesteld dat als een systeem intensere buien (grote volume neerslag hoeveelheden in kortere tijdsbestek) aan water moeten kunnen verwerken er meer bergend en of infiltrerend vermogen moet worden gerealiseerd.

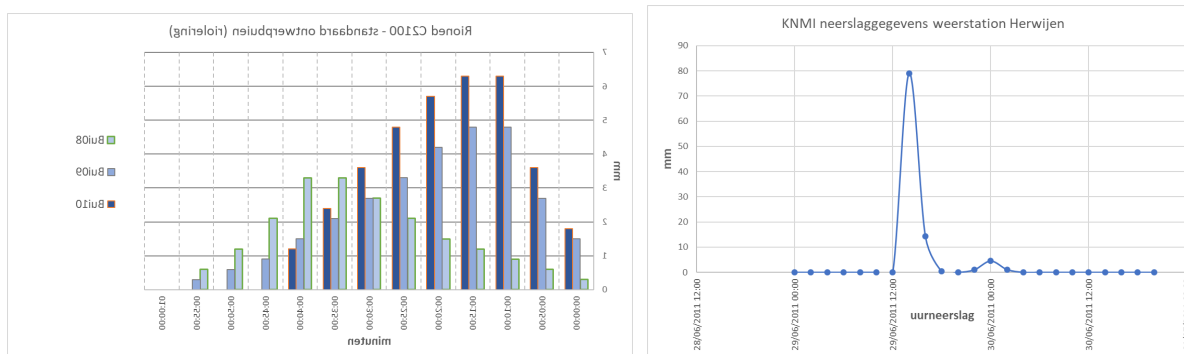
Algemeen kan worden gesteld dat als er gewerkt wordt met lagere ontwerpbuien er minder grote systemen hoeven worden aangelegd (omdat de berging kleiner is), er minder grondverzet nodig is en daarmee de kosten lager zijn ten opzichte van het rekenen met grotere ontwerpbuien. Hieronder zijn de meest gebruikelijke ontwerpnormen voor het dimensioneren van riolering opgenomen. Wanneer het gaat om berekening van maximum aanvoer naar het systeem volstaat het om met piekintensiteiten te rekenen om zodanig te berekenen wat de noodzakelijke berging in het systeem moet zijn om geen water op straat te krijgen.

In het verleden gangbare ontwerp buien voor het dimensioneren van rioleringssystemen waar waterdoorlatende verharding onderdeel van uit kan maken. Voor meer gegevens aangaande ontwerpbuien wordt verwezen naar bijlage 6.

Ontwerpnormen	Herhalingstijd	Totaalsom neerslag bui (stationaire belasting)	Maximale neerslag som per 5 min in mm	Piekintensiteit l/s/ha
Bui08	T2	19.8 mm/uur	3.3	110 l/s/ha
Bui09	T5	29.4 mm/uur	4.8	160 l/s/ha
Bui10	T10	35.7 mm/uur	6.3	210 l/s/ha

Als vergelijking is het verloop van buien in de tijd weergegeven met als referentie een extreme bui die in het verleden voor veel wateroverlast in stedelijk gebied heeft gezorgd. Zoals eerder aangegeven

hangt de dimensionering af van de gekozen neerslagintensiteit waarmee gewenst is te rekenen. Misschien nog belangrijker bij de dimensionering van het systeem is de achterliggende oppervlaktebalans die maatbepalend is voor de uiteindelijk berging. Om deze reden worden er in NL voor nieuwe ontwikkelingen rioleringsberekeningen gebruikt om zo het totaal functioneren van het systeem te berekenen. Het is belangrijk om te weten wat het afgekoppeld oppervlak is dat instroomt in de voorzieningen.



Buiverloop van Rioned buien waarmee gerekend wordt voor riolering met als vergelijking een extreme bui die gemeten is voor weerstation Herwijen op 29 juni 2011. De neerslagintensiteit voor deze bui benaderd de maximale piekintensiteit van Bui 10 namelijk met een duur van 1 uur was destijds 79 mm gemeten (6.58 mm / 5 min) wat overeenkomt met 219.4 l/s/ha.

Vervuiling

Wanneer het gaat om vervuiling dan blijkt dat infiltrerende verharding effectief is in het zuiveren van regenwater, behalve verontreinigen in zin van chemie zijn dit verhardingen effectief gebleken in het zuiveren van opgeloste bodemdelen. De filterende werking maakt dat bodemdelen dus uit het regenwater worden gefilterd en dat naarmate de verharding langer zijn werk doet er in de loop der tijd vaste deeltje ophopen in de voorzieningen. Marcaida, Nguyen, & Ahn, 2018, refereren naar andere studies waarin blijkt dat de leeftijd van verharding indirecte relatie hebben met de reductie van infiltratiesnelheid en dat het aannemelijker is dat factoren als poriegehalte en doorlatendheid gerelateerd zijn. Materiaal met een poriegehalte 10, 8, tot 5 mm blijken een doorlatendheid te halen van respectievelijk 7.73, 5.43, and 5.03 mm/s. Daarnaast blijkt uit deze studie dat opgeloste boekdeeltjes met kleinste diameters door oppervlakteporiën passeren en in de interne poriën worden vastgehouden zonder te worden uitgewassen. Uit hun onderzoek komt naar voren dat bij een belasting van een samenstelling aan korrelgrootte het permeabiliteitsverlies 80% - 90% bedraagt terwijl bij een gesorteerde vuilbelasting met bodemdeeltjes, er een maximale permeabiliteitsvermindering van 67% werd geregistreerd. Op basis van hun onderzoek concluderen ze dat door vervuiling(sproeven) er een reductie in infiltratiecapaciteit kan met een afname van ongeveer factor 10. Dit blijkt ook uit ander onderzoek door waarbij door Viklander, Blecken, & Al-Rubaei, 2015 onderzoek gedaan was naar onder andere begroeide en niet begroeide doorlatende verharding (EN: grid pavers, interlocking concrete pavers) en bodempassages namelijk uit deze studie bleek dat na een periode van twee jaar soms een aanzienlijke afname van de infiltratiecapaciteit wordt gemeten van initieel 290 mm/ min tot 19 mm/ min na ongeveer twee jaar gebruik.

Overige omgevingsfactoren

Uit het literatuuronderzoek dat is uitgevoerd in dit werkpakket blijkt dat er niet een directe relatie is tussen de (afname) van infiltratiecapaciteit van doorlatende verharding en de aanwezigheid van bomen. Bij speelt bij het vinden van goede ruimtelijke balans tussen verhard oppervlak en stedelijk groen dat toepassing van bomen in relatie tot leefbaarheid als belangrijk inrichtingselement een goed middel is. Het is van belang om juiste maatregelen te nemen omdat wortelgroei kan leiden tot

onbedoeld korte levensduur van investeringen in het wegontwerp (Taguchi, Weiss, & et.al., 2020). Met name wanneer geredeneer wordt vanuit waterkwaliteit is het van belang te weten dat bladval en de aanwezige nutriënten uit biomassa een rol spelen en dat het beheer van bladval van belang is.

Als laatste is van belang te weten dat spoorvorming, de hoeveelheid beschikbare berging als gevolg van de hoogte van drainerende middelen en de hoogte van de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld algemeen de capaciteit en de natuurlijke eigenschappen van de ondergrond bepalende hydrologische factoren zijn die gemakkelijk door raadplegen van Dinoloket achterhaald kunnen worden.

ⁱ 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.