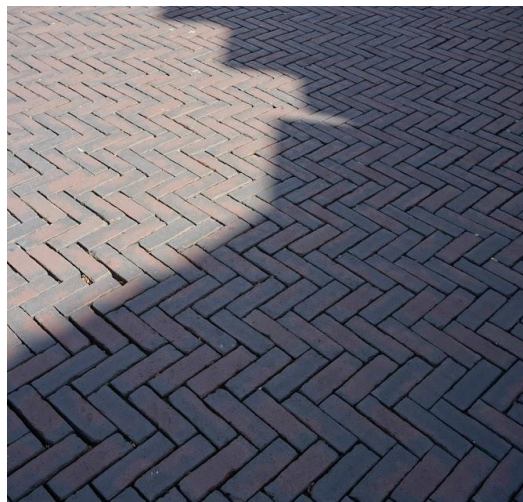




community of practice
waterinfiltrerende verharding



Handreiking waterinfiltrerende verhardingen



juni 2022

GROEIDOCUMENT

Mogelijk gemaakt door de deelnemers van de Community of Practice
waterinfiltrerende verhardingen

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	4
2	Locatiekeuze	5
2.1	Aandachtspunten	5
2.2	Gedeelde ervaringen	6
2.2.1	Invloed groenvoorzieningen op infiltratiesystemen	6
2.2.2	Vervuiling per type terrein (woonstraten, pleinen, stadscentra)	7
2.2.3	Keuze type infiltratiesysteem per locatie.....	7
2.3	Checklist voor de locatiekeuze	8
3	Ontwerp	9
3.1	Aandachtspunten	9
3.2	Gedeelde ervaringen.....	10
3.3	Checklist voor het ontwerp	11
4	Aanleg	12
4.1	Aandachtspunten	12
4.2	Gedeelde ervaringen.....	12
4.3	Checklist voor de aanleg	13
5	Metten.....	14
5.1	Doelen voor meten	14
5.2	Waterbalans totale systeem	14
5.3	Meetmethoden	14
5.4	Gedeelde ervaringen.....	18
5.5	Checklist voor het meten & monitoren.....	19
6	Onderhoud.....	20
6.1	Aandachtspunten	20
6.2	Gedeelde ervaringen.....	20
7	Onderzoeksvragen	21
8	Bibliografie	21

1 Inleiding

Waterinfiltrerende verhardingen worden veelvuldig gebruikt in Nederlandse gemeenten. Door de jaren heen zijn er veel soorten waterinfiltrerende verhardingen ontwikkeld (waterdoorlatende stenen, waterpasserende stenen en varianten hierop) en wordt er gewerkt met verschillende materialen voor de voegvulling en fundering van de verharding. Met deze handreiking willen we helpen bij het op een goede manier aanleggen en beheren van water infiltrerende verharding.

Deze handreiking is opgesteld door de community of practice waterinfiltrerende verhardingen. De community of practice bestaat uit: Rioned, gemeente Amersfoort, gemeente Nijmegen, gemeente Rotterdam, gemeente Alblasterdam, gemeente Huizen, gemeente Utrecht, gemeente Amsterdam, Waternet, Hogeschool van Amsterdam en Sweco. De community of practice is een netwerk waarin gemeenten kennis delen over waterinfiltrerende verharding. Door ervaringen te delen, kennis te verspreiden en het netwerk te vergroten helpt de community bij het op een goede manier aanleggen en beheren van waterinfiltrerende verharding.

Het doel van dit groeidocument is om de huidige kennis omtrent de werking en ‘lessons learned’ van waterinfiltrerende verharding te vertalen in richtlijnen en aandachtspunten voor het ontwerp, de aanleg en het beheer van waterinfiltrerende verhardingsconstructies. Daarnaast biedt dit document een checklist voor verschillende stappen in het ontwikkelingsproces. In dit document onderscheiden wij vijf fasen:

- Locatiekeuze
- Ontwerp
- Aanleg
- Meten & Monitoren
- Onderhoud

Aan het einde van dit document staat een overzicht van de beschikbare onderzoeken die zijn uitgevoerd.

Dit rapport is een ‘groeidocument’ en wordt bijgewerkt en aangevuld als nieuwe richtlijnen en aandachtspunten voor waterinfiltrerende verhardingsconstructies bij ons bekend zijn.

2 Locatiekeuze

2.1 Aandachtspunten

De eerste stap bij het aanleggen van waterinfiltrerende verhardingen is het kiezen van de juiste locatie. Sommige locaties zijn geschikter om waterinfiltrerende verharding aan te leggen dan andere locaties. Tijdens een symposium van de community of practice (d.d. 11-12-19) zijn verschillende aandachtspunten benoemd waar rekening mee gehouden dient te worden bij de locatiekeuze van waterinfiltrerende verhardingen.

Tabel 1 Aandachtspunten voor de locatiekeuze, opgesteld tijdens symposium CoP

1	Hoogteverschil	Door hellingen in het straatprofiel verzamelt vervuiling zich op één plek. Hierdoor slibben de voegen snel dicht.
2	Schaduwplekken	Schaduwplekken kunnen groene aanslag op tegels veroorzaken. Dit kan leiden tot uitglijgevaar voor voetgangers.
3	Groenvoorzieningen	Groenvoorzieningen kunnen vervuiling van de voegen veroorzaken van waterinfiltrerende verhardingen.
4	Ondergrond	Bij een ondergrond met een slechte waterdoorlatendheid is volledige infiltratie van hemelwater niet mogelijk en zullen extra maatregelen (IT-riool/drainage) vereist zijn.
5	Grondwaterpeil	Bij hoge grondwaterstanden is de infiltratie van hemelwater in de bodem niet altijd mogelijk. Bij hoge grondwaterstanden kan waterinfiltrerende verharding wel worden toegepast als er extra maatregelen (IT-riool/drainage) worden toegevoegd om het hemelwater af te voeren.
6	Functie straat	De functie van de straat (woonstraat, centra) bepaalt het type vervuiling. Dit bepaalt de geschiktheid van een bepaalde locatie voor waterinfiltrerende verharding.
7	Verkeersintensiteit	Straten met een hoge verkeersintensiteit kunnen klapperende stenen creëren. Hierdoor zijn straten met een hoge verkeersintensiteit niet geschikt voor waterinfiltrerende verharding.
8	Kabels & leidingen	Hou rekening met kabel en leidingen die in de nabij toekomst vervangen moeten worden.
9	Bereikbaarheid	De waterinfiltrerende verharding moet bereikbaar kunnen zijn voor onderhoud (veegwagen, zoab-reiniger).
11	Braakliggende terrein	Braakliggende terreinen kunnen vervuiling (zand, aarde, groen, etc) veroorzaken die de werking van waterinfiltrerende verhardingen kan verminderen.
12	Onregelmatige zettingen	Onregelmatige zettingen kunnen de werking van waterinfiltrerende verhardingen verminderen maar zijn ook niet wenselijk voor de gebruiker van de weg. Dit moet worden voorkomen.
13	Wortels	Wortels kunnen de ondergrondse constructie aantasten Hier moet rekening mee gehouden worden bij de locatiekeuze/ontwerp van waterinfiltrerende verharding.

Verder is in opdracht van de gemeente Deventer, onderzoek gedaan naar de geschikte en minder geschikte locaties voor waterinfiltrerende verhardingen. De conclusies staan hieronder.

Tabel 2 Handreiking infiltrerende verhardingsconstructies (Deventer, 2016)

Geslacht	Onder voorwaarde mogelijk	Af te raden
• Woonstraten • Pleinen • Fietspaden • Opritte • Terrassen	• Centrumgebied ◦ Geen zwaar verkeer ◦ Geen evenementen • Bus routes ◦ Geen zwaar verkeer • Schoolpleinen ◦ Geen zandbak • Parkeerplaatsen ◦ Afhankelijk van intensiteit	• Evenementen terreinen • Markten • Industriegebieden • Wegen met landbouwverkeer • Wegen met hoge intensiteit

2.2 Gedeelde ervaringen

2.2.1 Invloed groenvoorzieningen op infiltratiesystemen

Groen in de nabijheid van de infiltrerende verharding kan veel invloed hebben op het functioneren van de infiltrerende verharding. Hier vallen twee vragen onder:

- Welke soorten groen zorgen voor een verslechtering van het functioneren?
- Welk type onderhoud en in welke frequentie kan dit voorkomen?

Niet alleen bladval zorgt voor een ongewenste vuillast op straat maar met name de fijnere delen die afkomstig zijn van onder andere bomen dragen bij aan het verslechterd functioneren van de infiltrerende verharding. De volgende factoren (veroorzaakt door groenvoorzieningen) kunnen van invloed zijn op het functioneren;

- Blad (-afval)
- Bloei (pluizen, blaadjes)
- Vruchten
- Dood hout
- Luis (lekken)
- Wortels
- Stufmeel
- Mos (aangroei in schaduwrijke omgeving)
- Uitspoeling grond boomkrans of perk
- Onderhoud van groen (vervuiling tijdens onderhoud aan groen)

Wanneer er inzicht verkregen is in welk type groen er in welke mate een negatieve bijdrage levert aan het infiltrerend vermogen van de verharding, pas dan kan de frequentie en het type onderhoud vastgesteld worden.

Om iets te kunnen zeggen over de afstand dat groen moet hebben tov de infiltrerende verharding, zal tevens meer informatie over de vervuilingsgraad van het type groen bekend

moeten zijn. Daarnaast zal er ook rekening gehouden moeten worden met de ligging van de infiltrerende verharding ten opzichte van groen (transport vervuiling door wind of afstroming naar lager gelegen delen). (Waternet, Kennisdocument hemelwaterverwerkende voorzieningen, 2020)

Uit praktijkonderzoek bij de Argonautenstraat in Amsterdam blijkt dat de aanwezige bomen in deze straat een zeer grote factor zijn in de vervuiling en dus de degradatie in functioneren van de infiltratiesstrook. In figuur 1 is de vervuiling door groenvoorzieningen in de Argonautenstraat zichtbaar.



Figuur 1 Lentebloesem en uitgespoelde grond uit boomkrans (Waternet, Onderzoek naar een nieuw infiltratiesysteem in de Argonautenstraat, Amsterdam-Zuid, 2017)

Als er waterinfiltrerende verharding geplaatst wordt bij groenvoorzieningen is het advies om:

- bij verschillende groenexperts binnen de gemeenten navraag doen naar vervuilende groensoorten;
- informatie in te winnen bij kennisinstellingen zoals Naturalis over de meest vervuilende groensoorten en minst vervuilende groensoorten die in de steden en dorpen toegepast worden;
- literatuurstudie uitvoeren naar overlast ten aanvang van groen.

2.2.2 Vervuiling per type terrein (woonstraten, pleinen, stadscentra)

Het type vervuiling is locatie-afhankelijk. Op de volgende wijze kan er inzicht verkregen worden in de vervuiling per type terrein:

- Inzichtelijk krijgen hoeveel straatvuil er per nader te bepalen m² verhard oppervlak er door een straat veegmachine wordt verzameld.
- Inzicht in hoeveelheid kolkenslib per locatie (zie ook onderzoek naar vuilvracht in kolken. Waternet Nijman 2018.)

2.2.3 Keuze type infiltratiesysteem per locatie

De keuze voor het type infiltratiesysteem op een bepaalde locatie hangt sterkt af van lokale omstandigheden zoals:

- Ruimte(gebrek)
- Mate van wateroverlast

- Grondwaterpeil (grondwater overlast of onderlast)
- Inpasbaarheid (beschikbare ruimte in ondergrond)
- Grondslag (k-waarde)
- Beheerbaarheid
- Kosten vs baten
- Kwetsbaarheid van omgeving en aanwezige infrastructuur
- Esthetisch oogpunt
- Soort groen

Als het gaat over de locatiekeuze van waterpasserende verhardingen versus groen kunnen we wellicht ook de vraag andersom stellen “welke voorziening kan bij dit groen”. Het groen in de wijk zou wellicht het uitgangspunt moeten zijn, want dit heeft zich aangepast aan het grondwaterpeil en is al aanwezig.

2.3 Checklist voor de locatiekeuze

Voor de locatiekeuze van waterinfiltrerende verharding kunnen de volgende stappen doorlopen worden:

- Situatieschets maken van de omgeving/straat waar mogelijk waterinfiltrerende verharding wordt aangelegd. Welke factoren kunnen de werking van waterinfiltrerende verharding beïnvloeden. De factoren in de tabel 1 hierin meenemen. Wanneer een omgevingsfactor de werking van waterinfiltrerende verharding negatief beïnvloed, afweging maken of waterinfiltrerende verharding wel de juiste zet is.
- Kennisdelen met verschillende disciplines binnen de gemeente. De afdeling groen, wegen en riolering samen bespreken of waterinfiltrerende verharding op die locatie toepasbaar is. Bij de afdeling groen binnen de gemeenten navraag doen naar vervuilende groensoorten;
- De mogelijkheden voor onderhoud al in dit stadium bekijken. Hoe wordt het onderhoud georganiseerd? Is het op deze locatie mogelijk om de waterinfiltrerende verharding goed te onderhouden?

3 Ontwerp

3.1 Aandachtspunten

Het ontwerp van waterinfiltrerende verhardingen is complex omdat er rekening gehouden moet worden met vele omgevingsfactoren (ondergrond, verkeer, groen, etc). De onderstaande tabel beschrijft de aandachtspunten die belangrijk zijn bij het ontwerp van waterinfiltrerende verhardingen.

Tabel 3 Aandachtspunten en ontwerpnormen voor het ontwerp van waterinfiltrerende verhardingen, gebaseerd op ervaringen van gemeenten en literatuur (Deventer, 2016) (Stowa, 2007) (SVI, 2018)

Bodem & ondergrond		
1	Ondergrond type	Volledige infiltratie bij ondergrond van klei of leem (korrelgrote <50 µm) wordt afgeraden
2	k-waarde	Voor volledige infiltratie van hemelwater in de bodem moet de waterdoorlatendheid coëfficiënt van de bodem (k-factor) > 0,5-1 m/dag zijn. Bij k < 1 m/dag kan hemelwater niet goed genoeg infiltreren in de ondergrond en er extra maatregelen (waterbergende weg, IT-riool/drainage) worden toegevoegd om het hemelwater af te voeren.
3	Grondwater	Bij grondwater op <1 meter van het bestratingsoppervlak wordt volledige infiltratie afgeraden en moet er een afvoerdrain worden toegepast.
Constructie (wegbeheer)		
4	Verkeer	Waterinfiltrerende verharding toepassen op wegen met grote verkeersintensiteit, zorgt vaak voor losliggende stenen. Maximaal 20 zware en 500 lichte voertuigen per dag (Deventer, 2016)
5	Opdooischade	Dikte van de wegconstructie ≥ dan de vorstindringing diepte plus capillaire stijghoogte
6	Helling	Door afschot in het straatprofiel kan er ophoping van vuil en water ontstaan. Helling minimaliseren.
7	Kabels & leidingen	Gebruik een cunet zonder doek waardoor ondergrondse infra bereikbaar blijft.
Constructie (waterhuishouding)		
8	Noodvoorziening	Pas een noodvoorziening toe. Er mag geen schade of overlast ontstaan wanneer de waterinfiltrerende bestrating faalt. Het overtollige hemelwater wat niet verwerkt kan worden dient dan op een andere manier verwerkt te worden in de omgeving.
Materialen		
9	Scheidingsdoek	Geen scheidingsdoek (geotextiel) toepassen. Scheidingsdoeken slibben snel dicht.
10	Fundering	Ongebonden steenslagen met bijvoorbeeld 4/40, 8/32 en 8/35 aangevuld met draineerzand
11	Voegvulling	Split met een gradatie 1/3 of 1/2 Geen kalk gebruiken in inveegsplit (als daar kalk in zit kan dat vermalen raken en leiden tot een dichte laag)

		Geen brekerzand als voegzand (dat vermaald en zorgt voor een dichte laag)
12	Vlijlaag	Split met een gradatie 2/6
Onderhoud		
13	Bereikbaarheid	Onderzoek of de aan te leggen waterinfiltrerende verharding bereikbaar is voor onderhoud (veegwagen, zoab-reiniger)

3.2 Gedeelde ervaringen

Uit ervaring blijkt dat het ontwerp van waterinfiltrerende verharding best uitdagend kan zijn. Enkele voorbeelden van ervaringen met betrekking tot het ontwerp van waterinfiltrerende verharding zijn:

- Klapperende stenen: Waterinfiltrerende verharding heeft in de meeste gevallen een bredere voeg en een andere voegvulling dan normale wegverharding. Wanneer veel verkeer over de waterinfiltrerende verharding rijdt kunnen er 'klapperende stenen' ontstaan. Dit betekent dat de voegvulling verdwijnt tussen de stenen waardoor de stenen los komen te liggen.
- Afschot wegdek: Het afschot in de weg is van groot belang voor de infiltratie van het hemelwater. Hoe flauwer het wegdek des te beter de infiltratie. Wanneer het afschot in het wegdek groot is, verplaatst het vuil in het water naar één plek op de waterinfiltrerende verharding.
- Tijdens het ontwerp dient rekening te worden gehouden met de impact van een slecht doorlatende ondergrond en het effect daarvan op het grondwaterpeil, het waterniveau in het buffersysteem en de infiltratiesnelheid ([Infiltratievoorzieningen - hoe functioneren ze? | Amsterdam Rainproof](#))



Figuur 2 (links) klapperende stenen (rechts) vervuiling zijkant van waterpasserende stenen

3.3 Checklist voor het ontwerp

Voor de locatiekeuze van waterinfiltrerende verharding kunnen de volgende stappen doorlopen worden (Waternet:

- Onderzoekresultaten/huidige kennis meenemen in ontwerp en onderzoeksvragen benoemen om kentallen te actualiseren/valideren.
- Welk knelpunt wil je oplossen (lokaal en wijk niveau)
- Hoofddoel moet leidend zijn – 1 voorziening kan maar 1 doel goed bedienen – keuzes maken;
- Norm met wat het systeem in de praktijk moet kunnen vastleggen (bv: binnen 24 uur weer leeg of welke buien verwerkt moeten worden door het gekozen systeem of in de wijk). Hieraan kunnen de latere onderzoekresultaten getoetst worden, het systeem worden geoptimaliseerd en bij nieuwe ontwerpen gebruik maken van betere kentgetallen;
- Rekening houden met omgeving (niet bomen (vuillast) aanpassen aan systeem maar systeem aanpassen aan omgeving.
- Rekening houden met levensduur (hoe lang moet het mee gaan), toekomstige werkzaamheden en beheer/onderhoud mogelijkheden;
- Voldoende meetpunten voor onderzoek meenemen in de realisatie;
- Afweging maken tussen complexiteit van dit soort systemen en robuustheid/functionaliiteit in de gebruikersfase.
- Zie ook 1: onderzoekresultaten vertalen naar optimalisatie en dat meenemen in toekomstig ontwerp

4 Aanleg

4.1 Aandachtspunten

De juiste aanleg van waterinfiltrerende verhardingen is cruciaal voor het functioneren van de waterinfiltrerende verharding. De onderstaande tabel beschrijft de aandachtspunten die van belang zijn bij de aanleg van waterinfiltrerende verhardingen.

Tabel 4 Aandachtspunten voor de aanleg van waterinfiltrerende verhardingen, gebaseerd op ervaringen van gemeenten en literatuur (Stowa, 2007), (Deventer, 2016)

1	Verdichtingsgraad	Gemiddelde verdichtingsgraad 100% met een minimum van 95% volgens de standaard RAW bepalingen 2010
2	Vlijlaag	Belangrijk om vlijlaag juist aan te leggen
3	Voegen	Belangrijk om de voegen goed dicht te vegen na aanleg
4	Verkeer	Direct na aanleg geen zwaar verkeer over de passerende verharding laten rijden om verdichtingen te voorkomen. Denk bij het aanleggen van de wijk/buurt/straat aan de volgordelijkheid van de aanleg. Wanneer de waterpasserende verharding met berging eerst aangelegd wordt en daarna de huizen en gebouwen, dan gaat er een hoop zwaar verkeer over de weg die de hydraulische capaciteit kan verminderen.

4.2 Gedeelde ervaringen

Uit ervaring blijkt dat in er de uitvoeringsfase veel mis kan gaan. Enkele voorbeelden van ervaringen met betrekking tot het aanleggen van waterinfiltrerende verharding zijn:

- Tijdens de uitvoering ontstaan vaak onverwachte situaties die in het ontwerp niet voorzien waren. Hierdoor ontstaan plotselinge aanpassingen aan het ontwerp. Het is belangrijk om deze aanpassingen te bespreken met de engineer of ontwerper van het systeem. Kleine aanpassingen kunnen zorgen voor grote gevolgen in het functioneren van waterinfiltrerende verhardingen.
- Waterinfiltrerende verhardingen zijn complexe systemen waarin verschillende materialen worden verwerkt. Het is belangrijk om tijdens de uitvoering het ontwerp en de materiaalkeuze nauwkeurig te volgen.

In het document [Infiltratievoorzieningen - hoe functioneren ze? | Amsterdam Rainproof](#) van Waternet staan veel ervaringen vermeld.

4.3 Checklist voor de aanleg

Voor de aanleg van waterinfiltrerende verharding kunnen de volgende stappen doorlopen worden:

- I. Op wijkniveau met alle disciplines (groen, wegen, water) bepalen wat het belangrijkste is. Als bekend is wat het belangrijkste is dan op wijkniveau bepalen welke voorzieningen en inrichting daarbij hoort - standaardisering daarvan lijkt vooralsnog niet te kunnen door de grote variabele in hetgeen gewenst is en de verschillen in omgeving (ligging, gebruik, grondwaterniveau, etc.);
- II. Bij een aanbesteding op de laagste prijs is het van groot belang dat de opdrachtgever zo compleet mogelijk is. Formuleer de omschrijving van het systeem SMART.
- III. Kennisdelen met de mensen die verantwoordelijk zijn voor de aanleg. Regelmatig merken we dat tijdens de aanleg “andere” keuzes gemaakt worden. De keuzes zijn te begrijpen maar meestal werken ze contra op hetgeen de bedoeling is;
- IV. Voldoende controle op het werk voordat er zand over gaat. Is daadwerkelijk het systeem aangelegd zoals zou moeten. Achteraf uitzoeken hoe een systeem functioneert is tijdrovend.
- V. Beheer en onderhoud op basis van metingen (monitoring dashboard). Na verloop van tijd kan hieruit misschien een standaard ontwikkeld worden, echter is het ook denkbaar dat elke systeem, wijk en omgeving zijn eigen onderhoud en beheerschema behoeft. Belangrijkste is om op een eenduidige manier data te verzamelen zodat onderlinge vergelijking mogelijk is.

5 Meten

5.1 Doelen voor meten

Het meten van waterinfiltrerende verharding geeft inzicht in de werking en het functioneren van de waterinfiltrerende verharding. Meten en monitoren vindt plaats om de uitgangspunten voor locatiekeuze, ontwerp, aanleg en onderhoud te beoordelen en het functioneren te toetsen. Hiermee kan het verschillende doelen dienen, bijvoorbeeld:

- Beoordelen of de beoogde verwerkingscapaciteit van hemelwater wordt behaald.
- Beoordelen of de afname van infiltratiesnelheid binnen de verwachtingen blijft.
- Beoordelen of de onderhoudsmethode past bij de locatie.

In dit hoofdstuk gaan we in op het meten van de infiltratiesnelheid en de verwerkingscapaciteit van de voorziening.

5.2 Waterbalans totale systeem

Bij het beoordelen van de waterinfiltrerende verharding moet rekening gehouden worden dat deze verharding een onderdeel is van het totale watersysteem. Deze systemen worden aangelegd voor een bepaald doel, bijvoorbeeld wateroverlast tegengaan of neerslag benutten om grondwater aan te vullen.

Om de werking van het totale systeem in beeld te krijgen moet vooraf aan de meting een waterbalans van een wijk of straat in kaart worden gebracht. Een waterbalans geeft inzicht hoeveel en via welke routes water in een watersysteem terechtkomt. Infiltrereert de neerslag in de bodem of wordt het versneld naar het oppervlaktewater afgevoerd via een drain.

5.3 Meetmethoden

Om de infiltratiesnelheid en verwerkingscapaciteit van waterpasserende verharding te meten zijn er verschillende meetproeven. In de bijlagen zijn meetprotocollen opgenomen die als basis kunnen worden gebruikt voor de uitvoering.

Doel van het meten

Aan de hand van het meetdoel kan de meetmethode worden bepaald. De meetmethode moet de gegevens aanleveren om het meetdoel in te vullen. Bijvoorbeeld:

Meetdoel	Beoordelen of de infiltratiesnelheid van de verharding in straat X nog voldoet aan het ontwerp-uitgangspunt van XX mm/uur.
	Beoordelen of de infiltratiesnelheid van de verharding in straat X nog voldoet aan het ontwerp-uitgangspunt dat er een

maximale afname van infiltratiesnelheid van XXX mm/uur per levensjaar of tot XXX mm/uur mag zijn.

Meetmethode

Full-scaleinfiltratietest die elke X jaar wordt herhaald.

De frequentie van de metingen komt voort uit het meetdoel. Zo kun je voor bovenstaand voorbeeld ervan uitgaan dat de afname van infiltratiecapaciteit op een bepaald punt stabiliseert. Het is daarom belangrijk om een frequentie te kiezen die hier een goed beeld van geeft. Zodra de stabilisatie zichtbaar is in de metingen kan de meetfrequentie worden teruggebracht.

Keuze voor meetproef

Er zijn vele meetproeven mogelijk. Hier worden twee categorieën meetproeven benoemd.

Meetproef	Omschrijving
Puntmeting (Dubbele ring infiltrometer) <i>Laat zien wat de infiltratiesnelheid op één punt is.</i>	De puntmeting is een eenvoudig uitvoerbare meting. De meting wordt door één persoon uitgevoerd met een dubbele ring infiltrometer. Deze meter wordt op één locatie geplaatst en neemt weinig ruimte in beslag. Met deze proef kan gemakkelijk worden gemeten wat de infiltratiesnelheid is van de waterinfiltrerende verhardingen. Bij deze meetmethode is de kans groter dat de meting niet representatief is voor de gehele straat. Hier moet rekening mee worden gehouden bij het analyseren van de metingen. De metingen geven de infiltratiesnelheid op één punt. Bij deze meting wordt luchtinsluiting niet meegewogen. De infiltratiesnelheid uit de proef zal hoger zijn dan de werkelijke infiltratiesnelheid op dat punt. <i>Het meetprotocol voor deze proef is opgesteld door de COP WAIVE en toegevoegd aan bijlage 1.</i>
Beperkte full-scale infiltratietest <i>Laat globaal zien wat het functioneren van een deel van de verharding is.</i>	De beperkte full-scale infiltratietest is een meting die bedoeld is om een beeld te geven voor een hele straat. Deze meetproef wordt uitgevoerd op minstens 4 m² en geeft een beeld van de infiltratiesnelheid van waterinfiltrerende verharding. De proef wordt door meerdere personen uitgevoerd. In de voorbereiding wordt een opstelling gebouwd waarbij een deel van de straat wordt

	afgesloten. Hierbij moet er worden gezocht naar een stuk straat dat representatief is voor de gehele straat of voor het onderzoek. De proef kan meerdere malen worden herhaald. Bij deze meting wordt luchtinsluiting grotendeels niet meegewogen. De infiltratiesnelheid uit de proef zal hoger zijn dan de werkelijke infiltratiesnelheid op dat punt. <i>Het meetprotocol voor deze proef is opgesteld door de Hogeschool van Amsterdam en toegevoegd aan bijlage 2.</i>
Grootschalige full-scale infiltratietest <i>Laat grondig zien wat het functioneren is van een deel van de verharding.</i>	De grootschalige full-scale infiltratietest is een meting die representatieve resultaten geeft voor een gehele straat. De resultaten van de proef nemen luchtinsluiting mee. Deze meetproef wordt uitgevoerd op minstens 50m². De proef wordt door meerdere personen uitgevoerd. In de voorbereiding wordt een opstelling gebouwd. Deze opstelling is groter dan de beperkte infiltratietest waardoor het resultaat een nauwkeuriger weergave is van de infiltratiecapaciteit. Er is meer voorbereiding nodig om deze test uit te kunnen voeren. De proef kan meerdere malen worden herhaald. De hoeveelheid aangebracht water wordt gemeten met een debietmeter. Afhankelijk van de specifieke situatie en onderzoeksvraag zijn er drie meetproeven die kunnen worden uitgevoerd: FSCH, FSFH en FS-STORM. Het verschil in de proeven is de wijze waarop het waterniveau wordt gehouden en het water wordt aangevoerd. <i>In het document Infiltratievoorzieningen - hoe functioneren ze? Amsterdam Rainproof staat uitgelegd hoe deze proef wordt opgezet en uitgevoerd.</i>

Advies meetdoel, meetmethode en meetfrequentie

Uit een groot aantal metingen met beperkte full scale test van het onderzoeksproject 'de infiltrerende stad' van de Hogescholen van Amsterdam, Rotterdam en Groningen is te zien dat de infiltratiesnelheid van de meeste gemeten locaties hoog was, maar dat op enkele locaties de infiltratiesnelheid erg laag is (WP2: Functioneren van infiltrerende verharding in de praktijk, HvA, 2019). De gemeten infiltratiesnelheid lag gemiddeld op 540 mm/uur, met een bandbreedte tussen 35 m/uur en 5707 mm/uur. Er is een gemiddelde afname in infiltratiesnelheid van 74 mm/uur per levensjaar. Leeftijd lijkt echter een beperkte invloed te hebben op deze afname in infiltratiesnelheid, omgevingsfactoren lijken wel van invloed

te zijn. Het onderzoek laat zien dat onderhoud zorgt voor een toename van infiltratiesnelheid van gemiddeld 380%.

Dit is de reden dat we adviseren om op zijn minst op enkele representatieve locaties de afname in infiltratiesnelheid te meten en monitoren. Hier kunnen andere meetdoelen bijkomen. Door de afname in infiltratiesnelheid te meten kan het juiste onderhoud op tijd worden uitgevoerd. Daarom adviseren we als meetdoel: *'Beoordelen of de infiltratiesnelheid van de verharding in straat X nog voldoet aan het ontwerp-uitgangspunt van XX mm/uur'*

Om dit te kunnen meten moet op enkele representatieve locaties minimaal een beperkte full-scale infiltratietest worden uitgevoerd met een frequentie van 1x per 5 jaar.

Aandachtspunten bij de uitvoering

In het meetprotocol zijn veel praktische zaken vastgelegd. Ervaring leert dat er naast het meetprotocol nog een aantal aandachtspunten zijn bij het uitvoeren van een meting. Hieronder zijn deze benoemd:

1. Benoem vooraf het beoogde functioneren van een voorziening

Om te toetsen of een locatie voldoet moet het beoogde functioneren (ontwerprichtlijnen voor infiltratiecapaciteit) bekend zijn. De vergelijking met de ontwerprichtlijnen kan aantonen of de voorziening wel of niet voldoet. Registreer daarom al bij ontwerp/aanleg wat het beoogd functioneren is.

2. Geef aandacht aan de wijze van ontwerp/aanleg en aan de omgeving

Ervaring leert dat bij opvallende uitkomsten de aanleg en de omgeving een belangrijke rol spelen. Keuzes die gemaakt zijn bij ontwerp/aanleg geven vaak een verklaring voor opvallende meetresultaten (vlak of tonprofiel, groenvakken), ook de directe omgeving (bomen, druk verkeer, vervuiling) speelt een belangrijke rol. Om de metingen goed te interpreteren is het daarom belangrijk dat er informatie beschikbaar is over ontwerp/aanleg en de directe omgeving. Leg dit daarom goed vast.

3. Meet op de juiste plek voor het goed beantwoorden van de vraag

Bijzondere omstandigheden kunnen zorgen voor een bijzonder meetresultaat. Bij het uitvoeren van de metingen moeten de gemeten delen van het systeem representatief zijn voor het gehele systeem. Bijvoorbeeld als er een boom staat die zorgt voor vervuilde voegen dan moet dit een representatieve situatie zijn die in het rest van het systeem ook voorkomt.

Bij de vraag om een representatieve meetlocatie is het goed om te letten op:

- Het weggebruik
- Omliggend groen (eventueel met onderscheid in bomen en perken).

4. Registreer metingen op een vergelijkbare en consistente wijze

Door meetresultaten op een vergelijkbare en consistente wijze te registreren wordt het makkelijker om resultaten te verwerken. Let er dus goed op dat waarden goed worden geregistreerd.

Voor een aantal belangrijke waarden raden wij aan:

Term		
Infiltratiesnelheid	De snelheid waarmee het water door de voorzieningen wordt geïnfiltreerd	mm/uur
Infiltratiecapaciteit	Het maximale volume water dat per uur door de voorziening kan worden geïnfiltreerd	m ³ /uur
k-waarde	Waterdoorlatendheid van de bodem	m/dag

5.4 Gedeelde ervaringen

De gemeente Rotterdam heeft het monitoringsprogramma 'Tests waterpasserende verharding' opgezet om de bekendheid en betrokkenheid van de verschillende disciplines te vergroten, meningen en ervaringen te delen en de kennis over ontwerp, aanleg en onderhoud verder te ontwikkelen. Voor dit monitoringsprogramma zijn vier grondwaterpeilbuizen geplaatst die de effecten op het grondwater in en naast het wegcunet monitoren. Daarnaast zijn ook vijf praktijkproeven uitgevoerd met publiek. Voor een praktijkproef spoot een spuitwagen van Rioolreiniging gemeente Rotterdam water direct op het wegoppervlak. De spuitwagen bootste met een debiet van 35 mm in 5 min (0,3 l/s op 3 m²) regen na. Ervaringen hieruit zijn:

- De doorlatendheid van de top laag lijkt meer bepalend dan doorlatendheid van het wegcunet. Beheer is dus van groot belang.
- Het afschot in de weg is van groot belang voor de infiltratie van het regenwater: hoe flauwer hoe meer water infiltreert.

In de gemeente Amsterdam worden nieuwe systemen aangelegd om hemelwater te verwerken. Deze systemen worden gemeten en gemonitord door Waternet. Waternet onderzoekt met full-scale infiltratieproeven hoe de nieuwe systemen functioneren in de praktijk. Middels een Internet-of-Things-communicatienetwerken worden locaties langdurig gemonitord. Waternet bundelt onderzoekresultaten, kengetallen en ervaringen in een kennisdocument. [Dit document](#) wordt elk halfjaar geüpdatet met nieuwe onderzoeksresultaten.

5.5 Checklist voor het meten & monitoren

- I. Zorgen dat alle disciplines vooraf aanwezig zijn en gezamenlijk tot een keus komen voor het meetdoel voor die omgeving. Dit heeft veel te maken met de aanleiding om de voorziening aan te leggen: wat is het belangrijkste in die omgeving, water vertraagd afvoeren, wateronderlast, wateroverlast, etcetera? Let hierbij op dat sommige systemen contra werken, maar wel in dezelfde wijk worden geplaatst. Dit kan het meten en monitoren beïnvloeden.
- II. Leg de uitgangspunten en keuzes bij ontwerp en aanleg goed vast. Bij aanleg worden soms keuzes gemaakt die afwijken van het ontwerp, spreek daarom goed door waarom dit ontwerp zo is gemaakt en bespreek eventuele afwijkingen. Leg goed vast wat het doel is van de voorziening, daarop moet ook het meet- en monitorsysteem afgestemd worden (inzichtelijk maken van de werking van het systeem en bepalen of het doel voldoende wordt bereikt).
- III. Zorg ervoor dat er altijd op dezelfde manier wordt gemeten en gemonitord, zodat verschillende systemen of dezelfde systemen op andere locaties met elkaar vergeleken kunnen worden.
- IV. Bedenk of je tijdens het werk het meet- en monitoringsysteem laat aanleggen. Dit voorkomt achteraf aanpassingen aan het systeem. Hiervoor moet vooraf bekend zijn hoe het systeem gemeten en gemonitord gaat worden en welke kentallen belangrijk zijn. Kortom, het meetdoel moet duidelijk zijn.
- V. Werk aan kwalitatief goede metingen, zodat de metingen heldere resultaten geven. Bij een beperkt budget kan het beter zijn om op enkele locaties uitgebreider te meten, dan op veel locaties beperkt te meten.

6 Onderhoud

6.1 Aandachtspunten

Waterinfiltrerende verharding is een vrij kwetsbare voorziening die snel vervuult raakt, waardoor het beheer van groot belang is. Rioned en Stowa hebben een overzicht met richtlijnen voor het onderhoud van waterinfiltrerende verhardingen gecreëerd. In de onderstaande tabel zijn deze richtlijnen samengevat voor waterinfiltrerende verhardingen. Het onderhoud van waterinfiltrerende verhardingen is locatie-specifiek en systeem-specifiek. De frequentie voor het onderhoud hangt af van verschillende omgevingsfactoren:

- groenvoorzieningen langs de waterinfiltrerende verharding;
- hellingen;
- verkeersintensiteit;
- gebruikte materialen;
- vervuiling door evenementen, markt, auto's.

Tabel 5 Richtlijnen onderhoud (Stowa, 2007) (Rioned, 2019)

Klein onderhoud		
1	4-12x per jaar	Veeg/zuigauto net als regulier onderhoud
2	1-5x per jaar	Voegen controleren en aanvullen
3	1x per jaar	Drain doorspuiten
4	1x per 2-5 jaar	Doorlatendheid meten
Groot onderhoud		
5	1x per 5 jaar	ZOAB-reiniger
6	1x per 5 jaar	Bodemmonster nemen
7	1x per 20 jaar	Herstraten

6.2 Gedeelde ervaringen

Tijdens de bijeenkomsten van de community of practice zijn de ervaringen van gemeenten over het beheer van waterinfiltrerende verhardingen genoteerd:

- Regulier veegbeleid is niet voldoende onderhoud voor waterinfiltrerende verharding. In de praktijk minimaal 2 tot 5 keer per jaar vegen.
- Te intensief vegen kan ervoor zorgen dat voegvulling loskomen.
- Let op bij onkruidbestrijding, omdat sommige producten beschadigd raken bij onkruidbestrijding met branders.
- Bij het openbreken van de weg voor werk aan kabels en leidingen, is vaak onduidelijk hoe de verharding weer moet worden teruggelegd. Daarnaast is belangrijk om het juiste materiaal te gebruiken als voegvulling bij het terugleggen van de bestrating.

7 Onderzoeksvragen

Met deze handreiking willen we de kennis en ervaring op waterinfiltrerende verharding bundelen en vertalen naar praktische richtlijnen. Hiervoor gebruiken we de kennis en ervaring die is opgedaan in 2020. We denken dat er nog veel uit te zoeken is en hopen dat we door nieuw onderzoek tot betere richtlijnen komen. Momenteel is de COP een lijst van onderzoeksvragen en onderzoeken aan het opstellen.

8 Bibliografie

- Deventer, g. (2016). *Handreiking Infiltrerende verhardingsconstructies*. Opgehaald van [file:///C:/Users/NLVITV/Downloads/160118_-_Handreiking__Infiltrerende_verhardingsconstructies%20\(10\).pdf](file:///C:/Users/NLVITV/Downloads/160118_-_Handreiking__Infiltrerende_verhardingsconstructies%20(10).pdf)
- Rioned. (2019). *Infiltrerende verharding*. Opgehaald van <https://www.riool.net/waterdoorlatende-en-waterpasserende-verharding> en <https://www.riool.net/infiltrerende-verharding>
- Stowa. (2007). Doorlatende verharding. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/118932>
- Stowa. (2007). Zuiverende voorzieningen hemelwater. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/118932>
- SVI. (2018). *Whitepaper waterregulerende bestrating*.
- Waternet. (2017). *Onderzoek naar een nieuw infiltratiesysteem in de Argonautenstraat, Amsterdam-Zuid*.
- Waternet. (2020). *Kennisdocument hemelwaterverwerkende voorzieningen*. Opgehaald van <https://www.winnovatie.nl/innovatie/infiltratievoorzieningen-hoe-functioneren-ze>

Bijlage 1 Meetprotocol dubbele ring infiltrometer

Op basis van meetprotocol HvA (Hogezand & Bruijns, 2019), Evaluating the Infiltration Performance of Eight Dutch Permeable Pavements Using a New Full-Scale Infiltration Testing Method (Boogaard et al, 2014)

A) Doel van de proef

Het doel van de proef moet vast worden gelegd. Hieronder kan dit worden ingevuld.

Meetdoel	
Meetmethode	
Meetfrequentie	

B) Vooronderzoek

Het vooronderzoek wordt uitgevoerd voor de start van de proef. Het vooronderzoek geeft inzicht in de eigenschappen van het infiltratiesysteem.

1	Gemeente	
2	Straat	
3	Locatie in de straat	
4	Jaar van aanleg	
5	Leverancier infiltrerende constructie	
6	Gebruikte materialen	
7	Werking voorziening	
8	Grondwaterstand t.o.v maaiveld	
9	Bodemopbouw	
11	Riolering	
12	Historie wateroverlast	

Acties die uitgevoerd moeten vóór het uitvoeren van de proef:

13	Verkeersmaatregelen (zijn er tijdens het uitvoeren van de proef verkeersmaatregelen nodig?)
14	Gereedschap meenemen. Denk hierbij aan: - Hamer - De dubbele ring infiltrometer met toebehoren - Spons (om de bodem niet te beschadigen) - Stopwatch.
15	Druksensoren afgesteld op gewenste frequentie (maximaal 30 seconden)

C) Proeflocatie beschrijven (metadata) + fotograferen

1	Beschrijf de vegetatie (bomen, grootte van bladeren, struiken etc.)	
---	---	--

2	Onderhoudssituatie beschrijven (Bladeren, afval, spoorvorming, maten van dichtslibbing, staat van de constructie (gebroken stenen, olievlekken))	
3	Grootte van de voegen in centimeters, neem het gemiddelde van 10 voegen. Maak een foto van het bovenaanzicht van de proefopstelling.	
4	Verkeersdrukke (hoeveel voertuigen passeren de proefstelling per 10 minuten)	
5	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	

D) Voorbereiden uitvoering meting

1	Zet de proeflocatie af eventueel met behulp van veiligheidsmaatregelen.
2	Plaats de binnenring op de waterinfiltrerende verharding. Sluit de binning af doormiddel van fitterskit of ander waterdicht materiaal.
3	Plaats de buitenring op de waterinfiltrerende verharding. Sluit de binning af doormiddel van fitterskit of ander waterdicht materiaal.
4	Bepaal vooraf het gewenste waterniveau.
5	Zet water klaar.
6	Meet de oppervlakte van de binnenkant van de ring. Deze oppervlakte wordt gebruikt om de infiltratiesnelheid te bepalen.

E) Uitvoeren meting

1	Start meting met 1 tijdwaarnemer, 1 persoon die de binnenring vult en 1 persoon die de buitenring vult.
2	Vul de binnenring (controleer op lekkage) totdat het vooraf bepaalde waterniveau is bereikt.
3	Vul de buitenring tot het niveau van de binnenring tot het einde van de test.
3	Start stopwatch en noteer de tijd die het duurt voor het water volledig infiltreert.
5	Eind meting nadat al het water in de verharding is geïnfilteerd.
6	Noteer starttijd, eindtijd en het waterniveau
7	Herhaal de meting (in totaal liefst 3x)

F) Verwerken gegevens

1	Test 1 – Waterniveau h binnenring [mm]	
2	Test 1 – Oppervlakte testgebied binnenring [m2]	

3	Test 1 – Tijd voor volledige infiltratie [uur]	
4	Gemiddelde infiltratiecapaciteit proef 1 [mm/uur]	

Bijlage 2 Meetprotocol beperkte full-scale infiltratietest

Op basis van meetprotocol HvA opgesteld (Hogezand & Bruijns, 2019)

A) Doel van de proef

Het doel van de proef moet vast worden gelegd. Hieronder kan dit worden ingevuld.

Meetdoel	
Meetmethode	
Meetfrequentie	

B) Vooronderzoek:

Het vooronderzoek wordt uitgevoerd voor de start van de proef. Het vooronderzoek geeft inzicht in de eigenschappen van het infiltratiesysteem.

1	Gemeente	
2	Straat	
3	Locatie in de straat	
4	Jaar van aanleg	
5	Leverancier infiltrerende constructie	
6	Gebruikte materialen	
7	Werking voorziening	
8	Grondwaterstand t.o.v maaiveld	
9	Bodemopbouw	
11	Riolering	
12	Historie wateroverlast	

Acties die uitgevoerd moeten worden voor vóór het uitvoeren van de proef:

13	Verkeersmaatregelen (zijn er tijdens het uitvoeren van de proef verkeersmaatregelen nodig?)
14	Tankwagen regelen
15	Gereedschap meenemen om een grondboring te maken
16	Divers afgesteld op gewenste frequentie (maximaal 5 seconden)

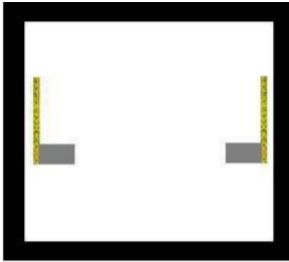
C) Proeflocatie beschrijven (metadata) + fotograferen

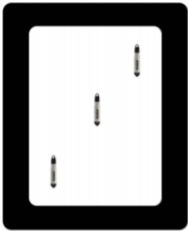
1	Beschrijf de vegetatie (bomen, grootte van bladeren, struiken ect)	
2	Onderhoudssituatie beschrijven (Bladeren, afval, spoorvorming, maten van dichtslibbing, staat van de	

	constructie (gebroken stenen, olievlekken))	
3	Grootte van de voegen in centimeters, neem het gemiddelde van 10 voegen. Maak een foto van het bovenaanzicht van de proefopstelling.	
4	Verkeersdrukke (hoeveel voertuigen passeren de proefstelling per minuut)	
5	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	

D) Voorbereiden uitvoering meting

1	Zet de proeflocatie af met behulp van veiligheidsmaatregelen
2	Voer een grondboring uit tot minimaal 100 centimeter (liefst tot 20 cm onder grondwaterstand)
3	Beschrijf de opbouw van de boorkern
4	Meet de grondwaterstand t.o.v. maaiveldhoogte als er water is aangetroffen. Afhankelijk van de grondsoort kan het even duren voor de grondwaterstand in het boorgat representatief is voor de echte grondwaterstand op locatie. Het gat moet eerst door insijpelen op peil gebracht worden.
5	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.
6	Positie tankwagen bepalen, zo dicht mogelijk naast het vlak.
7	Plaats meetlatten en 3 druksensoren in infiltratievlak en 1 barometer naast het vlak.





E) Uitvoeren metingen

1	Start meting met 1 opschrijver, 2 meetlat aflezers en 1 tijdwaarnemer
2	Storten water op het infiltratievlak tot circa 10 cm (controleer op lekkage)
3	Controleer of druksensoren onder water blijven liggen

4	Start stopwatch en meet om de halve minuut de waterstand bij de 2 meetlatten.
5	Eind meting nadat al het water in de verharding is geïnfiltreerd (1-30 minuten)
6	Noteer starttijd, eindtijd en waterstanden
7	Herhaal de meting (in totaal liefst 3x)

F) Doorlatendheid onderliggend materiaal (vlijlaag meten)

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

G) Verwerken gegevens

1	Test 1 – hoeveelheid water [m3]	
2	Test 1 – Oppervlakte testgebied [m2]	
3	Test 1 – Tijd voor volledige infiltratie [uur]	
4	Gemiddelde infiltratiecapaciteit proef 1 [mm/uur]	

