


# Toelichting Beslisboom verantwoord afkoppelen

Juni 2022

provincie limburg 

 waterschap  
limburg

# Inhoudsopgave

Toelichting Beslisboom verantwoord afkoppelen .....	1
1. Inleiding.....	3
2. Prioriteren van afkoppelmaatregelen.....	4
2.1. Waterkwantiteit.....	4
2.2. Waterkwaliteit .....	5
2.3. Kosten (en baten).....	7
3. Kiezen van afkoppelmaatregelen.....	8
4. Ontwerp en dimensioneren van voorzieningen .....	10
4.1 Ontwerp en aanleg.....	10
4.2. Dimensionering.....	12
5. Beheer en onderhoud van voorzieningen .....	13
5.1 Goed beheer .....	14
5.2 Voorlichting en communicatie.....	15
Bijlage 1. Doorlatendheden .....	16
Bijlage 2 Informatie beschikbaar in Climatescan.nl .....	17
Bijlage 3. Baten van blauw-groene maatregelen.....	18
Bijlage 4. Toelichting afkoppelmaatregelen .....	19
Bijlage 'Bodemfilters bij infiltratie van afstromend regenwater' .....	22

## 1. Inleiding

Deze toelichting en de bijbehorende beslisboom is bedoeld voor iedereen die betrokken is bij de planvorming, de inrichting of de herinrichting, het ontwerp, de aanleg en/of het beheer van (de waterhuishouding van) de gebouwde omgeving. De beslisboom en deze toelichting ondersteunen het verantwoord afkoppelen van regenwater van verhard oppervlak, zowel bij nieuwbouw als bij de herinrichting van bestaande gebouwen en hun omgeving. Het biedt een overzicht van het brede pallet van beschikbare maatregelen en geeft richting aan de te maken keuze, op basis van de lokale omstandigheden en de beginselen van een duurzame en klimaatrobuuste inrichting.

### **Publicaties Beslisboom verantwoord afkoppelen**

De beslisboom zelf bestaat uit het schema in Excel en de stroomschema's. Het document dat u nu leest is de Toelichting Beslisboom verantwoord afkoppelen met daarin de bijlage 'Bodemfilters bij infiltratie van afstromend regenwater'. Meer over de verankering van het beleid vindt u in 'Borging Beslisboom verantwoord afkoppelen'. Alle informatie is ook uitgewerkt in een presentatie, QenA en twee infographics. Van de infographics is er één voor de initiatiefnemer en één voor de beleidsmedewerkers water en riolering. U vindt alle documenten op <https://www.waterinlimburg.nl/producten>.

"Afkoppelen van verhard oppervlak" is dus onderdeel van het duurzaam, klimaatbestendig, circulair, gezond en aantrekkelijk inrichten van de gebouwde omgeving. Door hemelwater zoveel mogelijk te hergebruiken of te infiltreren in de bodem of, als dat niet lukt, geleidelijk en gezuiverd af te voeren naar het oppervlaktewater, wordt stedelijk gebied 'water-neutraal' of zelfs 'water-positief' en verbetert de kwaliteit van het oppervlaktewater. Hierdoor worden wateroverlast en verdroging zoveel mogelijk voorkomen en het rioolstelsel en de watergangen worden minder belast.

Voor deze ambities is een groot aantal oplossingen beschikbaar. In de praktijk is gebleken dat natuurlijke, blauwgroene maatregelen effectief bijdragen aan de kwaliteit en leefbaarheid van de omgeving (o.a. voor het terugdringen hitte stress), aan de biodiversiteit, de volksgezondheid en aan de sociale samenhang – uiteraard de ene oplossing meer dan de andere. Veel van deze maatregelen creëren economische waarde, die we terugzien in de WOZ-waarde van het stedelijk vastgoed. Ze zijn bewezen kosteneffectief, mede door de extra (ecosysteem)diensten en baten die worden gegenereerd. Maar ze vergen ook andere vormen van onderhoud en financiering, en daarmee soms ook aanpassing van de organisatie.

De behoefte aan klimaatadaptatie – het beperken van de (toenemende) schade door wateroverlast, droogte, hitte en, in het kielzog daarvan, problemen met de waterkwaliteit en bodemdaling – heeft de behoefte aan deze natuurlijke, blauwgroene maatregelen alleen maar versterkt. De meeste maatregelen zijn namelijk relatief eenvoudig aanpasbaar aan nieuwe omstandigheden in de toekomst. En zo is "afkoppelen" onderdeel geworden van het duurzaam en klimaatbestendig inrichten van nieuwe én bestaande stedelijke gebieden, van woonwijken en bedrijventerreinen, van gebouwen tot straten en buurten.

In veel gevallen zal niet één specifieke maatregel toepasbaar zijn, maar kunnen de doelen worden gerealiseerd door een combinatie van maatregelen, elk met hun eigen bijdragen aan die duurzame, klimaatrobuuste inrichting én vaak met bijkomende baten en (ecosysteem)diensten die ze leveren. Een goede aanleg en een goed beheer en onderhoud zijn daarbij van groot belang. Daarom worden een aantal aspecten hiervan benoemd in dit spoorboekje. De dimensionering van voorzieningen en de organisatorische, juridische, technische en financiële aspecten van de aanleg en het beheer en

onderhoud vallen echter buiten de scope van deze handreiking. De mogelijkheden voor de verankering in het beleid staan in de publicatie 'Borging Beslisboom verantwoord afkoppelen'. Provincie en Waterschap Limburg zijn nog in overleg over de vraag hoe de beslisboom en de bijbehorende normering verder kan worden verankerd in de Limburgse praktijk.

## 2. Prioriteren van afkoppelmaatregelen

Om invulling te geven aan de beginselen van een duurzame en klimaatbestendige inrichting van het stedelijk watersysteem worden afkoppelmaatregelen geselecteerd, eerst op overwegingen met betrekking tot de waterkwantiteit. Vervolgens wordt die selectie verfijnd door ook de waterkwaliteitsaspecten in ogenschouw te nemen.

Maar voordat deze waterhuishoudkundige overwegingen aan de orde zijn speelt de vraag op welk schaalniveau maatregelen getroffen kunnen worden. Alleen op het openbare terrein of ook/*juist* op particulier terrein? Bepaalde maatregelen zijn gebonden aan gebouwen, andere aan de kavel of het erf; sommige passen goed op de schaal van een straat, maar er zijn ook maatregelen die op het niveau van een hele buurt genomen worden. Natuurlijk zijn sommige van die grootschalige maatregelen ook op kleinere schaal toepasbaar – het terras achter uw woning kan ook worden aangelegd met doorlatende verharding en bij een groot bedrijf kan op de kavel soms ook een kleine bergingsvijver worden aangelegd. Stedenbouwkundige, bestuurlijke en juridische regels zullen voor deze keuzes bepalend zijn. Maar wat de keuze ook is, in alle gevallen kan een duurzame en klimaatbestendige inrichting worden verkregen.

### 2.1. Waterkwantiteit

**Bij de keuze van maatregelen om terreinen af te koppelen geldt een *verdringingsreeks* vanuit het oogpunt van klimaatadaptatie (wateroverlast en droogte) en waterkwantiteit:**

- 1. Vasthouden om het, wellicht na behandeling, te kunnen (her)gebruiken;**
- 2. Infiltreren in de bodem**
- 3. Tijdelijk bergen in oppervlaktewater, op terreinen, in de holle ruimte in de bodem en op/in/onder gebouwen, om het rustig te laten afvloeien;**

Prioriteren van afkoppelmaatregelen voor een duurzame en klimaatbestendige inrichting van het stedelijk watersysteem zal in eerste instantie plaatsvinden aan de hand van de volgende verdringingsreeks:

- 1. Vasthouden van afstromend water voor **(her)gebruik** - al dan niet na voorzuivering.*  
Lukt dit niet in voldoende mate dan het resterende water
- 2. **Infiltreren** ten behoeve van de aanvulling van het grondwater en/of om de bodem te gebruiken als buffer om het water vertraagd en gezuiverd af te voeren.*  
En lukt ook dit niet in voldoende mate dan het resterende water
- 3. **Vertraagd afvoeren** door buffering in (tijdelijk of permanent) oppervlaktewater en/of bovengrondse en ondergrondse reservoirs.*

Om de impact van de gebouwde omgeving op de waterhuishouding en het milieu beperkt te houden wordt het afstromend regenwater zoveel mogelijk (her)gebruikt. Door het vast te houden – in open of gesloten reservoirs of tanks, bovengronds of ondergronds – en zo nodig te zuiveren tot de gewenste kwaliteit kan de aanvoer van hoogwaardig drinkwater worden beperkt.

Lukt het niet om al het toegevoerde water zo vast te houden voor gebruik - het reservoir zit nog te vol en/of de toevoer is te groot -, dan gaan we het water lokaal in de bodem infiltreren. Zo houden

we de grondwatervoorraden op peil. “Je kunt overal infiltreren”, dus ook in slecht doorlatende bodems zoals de leemhoudende zanden, klei – en brikgronden. In die gronden zal het infiltreren minder snel gaan, maar het levert toch een bijdrage. Vanuit doelmatigheid hanteert de Beslisboom een doorlatendheid van minimaal 0,1 m/dag als ondergrens voor het infiltreren van regenwater. Er zijn in Limburg tientallen voorbeelden van infiltratievoorzieningen onder diverse bodemkundige omstandigheden (ter inspiratie, zie Climatescan.nl en bijlage 2). Er is in alle gevallen een *berging* nodig van waaruit het water rustig in de bodem kan zakken. In matig tot slecht doorlatende bodems is de infiltratie echter zó langzaam dat infiltratievoorzieningen alleen gebruikt kunnen worden *in combinatie met drainage* en, waar nodig, bodemverbetering. Als voorbeelden noemen we de zandige aardebaan onder doorlatende verharding in een kleigebied; en een goed doorlatende tuingrond in (regen)tuinen en infiltratievelden op lemige zand- of brikgronden. Deze drainage brengt het water naar een plek waar het wél kan infiltreren of loost het water dan langzaam op het oppervlaktewater. Bovendien moeten alle infiltratievoorzieningen voorzien zijn van een noodoverloop-constructie richting oppervlaktewater of droge vijver<sup>1</sup>. In hoofdstuk 5 zijn de eisen die aan de voorzieningen worden gesteld verder uitgewerkt.

Een te hoge grondwaterstand kan nooit een argument zijn om niet te infiltreren. Is die grondwaterstand te hoog, dan had het gebied voorzien moeten worden van drainage om de waterstand voldoende laag te houden in natte perioden. En in die situatie ontstaat juist een ideale uitgangssituatie om infiltratievoorzieningen in combinatie met drainage toe te passen.

Indien kan worden aangetoond dat het niet mogelijk of doelmatig is – zie ook hoofdstuk 3 - om het water te hergebruiken of te infiltreren, dan moet het tijdelijk worden geborgen, om het daarna heel geleidelijk (vertraagd) te kunnen afvoeren naar het oppervlaktewater. Vertraagde afvoer is nodig om wateroverlast benedenstrooms en erosie te voorkomen. Ook moet voorkomen worden dat door piekafvoeren blijvende ecologische schade ontstaat, bijvoorbeeld omdat onderwaterfauna “wegspoelt”.

De eisen die worden gesteld aan de benodigde berging en de ontwerp-afvoercapaciteit zijn nader uitgewerkt in Hoofdstuk 5, Ontwerp en dimensionering. In paragraaf 5.1 is aangegeven welke eisen in Limburg worden gesteld aan de berging en de maximale afvoercapaciteit.

## 2.2. Waterkwaliteit

**Bij de selectie van maatregelen geldt vanuit het oogpunt van waterkwaliteit de volgende verdringingsreeks:**

- 1. Bronmaatregelen: Verontreinigingsbronnen wegnemen en zorgen dat hemelwater niet verontreinigd raakt;**
- 2. Maatregelen waarbij bodempassage, bezinking van zwevende stof en biochemische afbraak worden gecombineerd;**
- 3. Maatregelen waarbij bodempassage en bezinking van zwevende stof worden gecombineerd**
- 4. Maatregelen waarbij bezinking en biochemische afbraak worden gecombineerd**
- 5. Maatregelen met een lange verblijftijd, waardoor biochemische zuiveringsprocessen hun werk kunnen doen.**
- 6. Te vuil? Dan lozen op gemengde of vuilwaterriolering (dus niet afkoppelen maar afvoeren naar de rwzi).  
dit in lijn met de reeks “schoonhouden, scheiden, schoonmaken”.**

<sup>1</sup> Droge vijver is een laagte in het terrein – in welke vorm dan ook - die normaal droog staat maar waar overtollig afstromend water zonder probleem tijdelijk kan worden geborgen en rustig kan infiltreren in de bodem.

Bij dit alles speelt de zorg om de waterkwaliteit een cruciale rol. Afstromend regenwater wordt door diverse stedelijke activiteiten verontreinigd en we willen voorkomen dat die verontreiniging zich kan verspreiden<sup>2</sup>. Eerste prioriteit heeft uiteraard het voorkómen, saneren of ten minste beperken van de bronnen van verontreiniging. Denk aan het verkeer, uitlopende bouwmaterialen, foutieve aansluiting, het gebruik van pesticiden en (kunst)mest, de open haarden, industriële bronnen van lucht- en waterverontreiniging, bacteriële verontreiniging door honden, katten, vogels, etc. Ook door calamiteiten (bij verkeersongelukken, lekkend transport en bepaalde industriële activiteiten; bluswater bij branden) kan de waterkwaliteit in het gedrang komen.

Voor zover we deze verontreiniging niet kunnen voorkómen willen we het water zuiveren, het liefst dicht bij de bron van verontreiniging en vóórdat het wordt (her)gebruikt, geïnfiltrerd of geloosd op oppervlaktewater. Veel verontreiniging is gebonden aan de zwevende stof die in het afstromend regenwater zit, zoals een groot deel van de zware metalen, olie, poly-aromatische koolwaterstoffen (PAKs) en andere organische (micro)verontreinigingen. Dus door de zwevende stof af te filteren of te laten bezinken kunnen we de verspreiding van veel verontreiniging beperken. Maar bijvoorbeeld veel meststoffen (nutriënten) zijn met name opgelost in het water en stromen dus mee. Een deel daarvan wordt dan weer in de grond vastgelegd, bijvoorbeeld in de humus die in de grond zit. Maar een ander deel is moeilijk te vangen en belandt in ons grond- en oppervlaktewater. Ziekteverwekkende bacteriën, virussen en andere micro-organismen zijn vaak gebonden aan de zwevende stof maar soms mobiel, afhankelijk van de soort. Belangrijke eigenschap is dat de meeste na verloop van tijd afsterven. Tijd is dan een belangrijke factor in de zuivering.

De bruikbaarheid van natuurlijke zuiveringsmethoden is afhankelijk van het type verontreiniging. Zuiveringsmethoden die we kunnen inzetten zijn bezinking van geabsorbeerde verontreiniging, (bodem)filtratie en biochemische afbraakprocessen zoals fytoremediatie. Alle drie de processen spelen in alle afkoppmaatregelen, maar in elke maatregel in verschillende mate. Bovendien verschilt het zuiveringsrendement, afhankelijk van de grootte van de voorziening, de snelheid (traagheid, verblijftijd) waarmee het water door de voorziening wordt geleid en de temperatuur – dus het seizoen.

Meest effectief voor de waterkwaliteit is een bodempassage, liefst door een doorleefde, humusrijke (eerd- of tuin)grond, in combinatie met bezinking en biochemische afbraak. De meest effectieve voorzieningen combineren deze drie, gevolgd door maatregelen die bodempassage met bezinking (dus berging in *vrijwel stilstaand* water) combineren. Infiltratie zorgt er voor dat de meeste zware metalen, organische en bacteriële verontreinigingen, worden vastgelegd in de bodem en daar zo mogelijk worden afgebroken. De opbouw van een goede bodempassage staat in het tweede gedeelte van dit rapport: Bodemfilters bij infiltratie van afstromend regenwater, hoofdstuk 2 Richtlijn bodemfilters.

Goed oplosbare verontreinigingen zoals strooi-/wegenzout, sommige organische koolwaterstoffen en relatief mobiele zware metalen zoals cadmium, stromen deels met het water mee het grondwater in. Als de concentraties van deze stoffen significant zijn en de bronnen van de verontreiniging niet kan worden voorkomen of gesaneerd, dan mag dit deel van het afstromend water niet infiltreren. Lozing via een voorziening in het oppervlaktewater kan dan worden overwogen.

Bergingsvijvers, wetlands/helofytenfilters en grachten waarin het water lange tijd vrijwel stil staat hebben door bezinking en afbraak een zuiverende werking – tenzij het té lang stil staat, muggenlarven zich kunnen ontwikkelen<sup>3</sup> en de eutrofiering kan toeslaan; een beperkte circulatie en

<sup>2</sup> <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/de-kwaliteit-van-afstromend-hemelwater-in-nederland> (onderzoek 2021)

<sup>3</sup> <https://www.onehealthpact.org/news/groenblauwe-raingardens-en-muggen/>

een zo mogelijk een verblijftijd kleiner dan 7 dagen zijn daarom nodig. Water dat ernstig is verontreinigd moet uiteraard naar een rwzi worden afgevoerd.

Aandachtspunt bij de keuze van maatregelen is ook het water waarop wordt geloosd. Tasten we de grondwaterkwaliteit aan, dan is dat nauwelijks te corrigeren. Diepinfiltratie van afgekoppeld water wordt daarom ontraden. Eén incident (calamiteit) kan de grondwatervoorraad geheel onbruikbaar maken of hoge kosten rond grondwatersanering veroorzaken. En wie kan op de lange termijn garanderen dat er niet zo'n incident zal plaatsvinden? Daarom geen (diep)infiltratie door middel van putten dieper dan 5 meter in Midden en Noord Limburg en niet dieper dan 10 meter in Zuid Limburg, zelfs na (voor)zuivering. Ondiepe infiltratiemaatregelen hebben de voorkeur en zijn minder gevoelig, zeker in combinatie met drainage, omdat mogelijke verontreiniging niet diep in bodem en grondwater zullen doordringen. Maar ondiepe infiltratiemaatregelen zijn niet altijd mogelijk vanwege bijvoorbeeld de doorlatendheid. Dan zijn diepere infiltraties gewenst, tot de aangegeven dieptes. Infiltreren van afstromend regenwater in gebieden met een reeds bestaande grondwater- of bodemverontreiniging<sup>4</sup> is uiteraard ongepast.

### 2.3. Kosten (en baten)

De kosten van afkoppelmaatregelen lopen sterk uiteen en zijn in hoge mate afhankelijk van de lokale situatie en omstandigheden. Bij nieuwbouw liggen de kosten lager dan wanneer maatregelen moeten worden ingepast in bestaand stedelijk gebied. Vanuit het oogpunt van doelmatigheid (kosteneffectiviteit) moet niet alleen worden gekeken naar de kosten van maatregelen maar ook naar de baten die de maatregelen opleveren in termen van de kwaliteit van leefomgeving, duurzaamheid, klimaatbestendigheid (dus minder schade door extreem weer), gezondheid (hittestress) en de biodiversiteit. Aan zichtbaar en beleefbaar water wordt grote waarde gehecht. En groene oplossingen werken door in de volksgezondheid en de sociale stabiliteit van wijken – en daarmee ook weer in de waarde van vastgoed. Deze baten zijn, net als de kosten, moeilijk precies te kwantificeren maar nationaal en internationaal is er een toenemende aantal tools beschikbaar om daar toch een schatting van te maken. We noemen hier de Groene Baten Planner van het RIVM, (ingebouwd in te Toolbox Klimaatbestendige Stad; <https://kbstoolbox.nl/nl>), de Belgische Natuurwaardeverkenner (<https://natuurwaardeverkenner.be>), het Engelse B&EST (Benefits of Sustainable drainage systems Tool; <https://www.susdrain.org/resources/best.html>) of de Amerikaanse Green Values Calculator (<https://greenvalues.cnt.org/index.php#calculate>) of de web tool “Triple Bottom Line Benefits of Green Stormwater Infrastructure” van de Water Research Foundation ([www.waterrf.org](http://www.waterrf.org)).

Het beheer en onderhoud van afkoppelvoorzieningen verschilt van het rioleringsbeheer, en daarmee ook de kosten. Bij de keuze van maatregelen is het daarom van belang te weten wie welke maatregelen gaat beheren en hoe dit financieel is afgedekt.

De afweging tussen kosten en baten van een voorziening wordt gecompliceerd doordat de kosten soms op andere schouders belanden dan de baten. Een eerlijke verdeling van de kosten is dan ook vaak een punt van onderhandeling, maar mag geen reden zijn om afkoppelmaatregelen achterwege te laten. Belangrijk onderwerp van discussie is vaak ook of maatregelen (ook) op particulier terrein genomen kunnen worden. Naast kosten en baten speelt dan de vraag wie voor het onderhoud moet gaan zorgen.

---

<sup>4</sup> Zie bijvoorbeeld

[https://www.limburg.nl/publish/pages/1181/overzicht\\_risicovolle\\_bodemverontreinigingen\\_limburg\\_okt\\_2021.pdf](https://www.limburg.nl/publish/pages/1181/overzicht_risicovolle_bodemverontreinigingen_limburg_okt_2021.pdf)

Onbekendheid met de maatregelen maakt dat kosten soms erg hoog en baten laag worden ingeschat. Het is dan van belang om, juist dan, het project te realiseren en achteraf gezamenlijk te evalueren hoe het nog beter had gekund. Het argument dat “afkoppelen en infiltreren écht niet kan” kan eigenlijk altijd worden verworpen. Een passende en doelmatige combinatie van infiltratievoorzieningen, drainage en oppervlakte(water)maatregelen is bijna altijd te vinden. Veel voorzieningen zijn al toegepast bij gemeenten in de buurt, kennis uitwisselen over de ervaringen kan veel tijd en kosten en fouten voorkomen. Vanuit doelmatigheid vraagt infiltratie van regenwater volgens de beslisboom een doorlatendheid van minimaal 0,1 m/dag. Bij een lagere doorlatendheid blijven (her)gebruik en vertraagd afvoeren over.

### 3. Kiezen van afkoppelmaatregelen

Leidend bij het kiezen van afkoppelmaatregelen zijn de regels en beperkingen van de Provinciale Omgevingsverordening Limburg (versie 2021), de Keur van Waterschap Limburg (versie 2019) en daaraan gerelateerde regelingen. Binnen die regels zijn er op de meeste plaatsen ruime mogelijkheden om verhard oppervlak af te koppelen. Zie hiervoor de bijgevoegde Excel-tabel, als onderdeel van de Beslisboom verantwoord afkoppelen. De daarin opgenomen lijst van afkoppelmaatregelen is lang. Toch omvat deze alleen de meest gebruikte maatregelen. Elke maatregel heeft zijn eigen kwaliteiten en beperkingen. Selectie van de meest geschikte maatregelen voor een bepaald project is daarom complex; mogelijkheden en kansen moeten worden afgewogen tegen de beperkingen. Daarom is van groot belang dat belanghebbenden én deskundigen vanuit verschillende disciplines meehelpen bij de selectie wélke maatregelen wáár en op wélke manier kunnen worden gerealiseerd en beheerd. Zie daarvoor het onderdeel “Wanneer betrek je welke partijen bij het afkoppelproject?”

De keuze van afkoppelmaatregelen gebeurt in twee stappen. In de eerste stap wordt de longlist beperkt tot een shortlist van ter plaatse bruikbare maatregelen. Deze selectie gebeurt aan de hand van vragen in de onderstaande tabel. Bij elke vraag wordt geselecteerd op bepaalde criteria, aangegeven in één of meer kolommen in de tabel, waardoor maatregelen moeten worden weggestrept als “*in deze situatie niet toepasbaar*”.

Nadat de shortlist is gemaakt, vaak met toevoeging van enkele twijfelgevallen, wordt aan de hand van bovengenoemde prioritering nagegaan welke maatregelen het best in het projectgebied kunnen worden toegepast om het verhard gebied af te koppelen. Om na te gaan hoe die maatregelen dan ruimtelijk kunnen worden ingepast kan de Toolbox Klimaatbestendige Stad (<https://kbstoolbox.nl/nl>) een handig hulpmiddel zijn.

De uiteindelijke keuze zal in de praktijk van veel factoren afhangen, inclusief argumenten als lokale voorkeuren, het beschikbare budget, stedenbouwkundige situatie identiteit van het gebied, etc. Factoren die zich niet laten vangen in een welles/nietes afweging zolang de doelen rond klimaatbestendigheid, duurzaamheid, leefbaarheid en aantrekkelijkheid maar worden gehaald. Bij de uiteindelijke keuze zijn ervaringen in de buurt vaak ook een belangrijke factor; ervaringen met oplossingen kunnen dan worden gedeeld. Via de tool <https://climatescan.nl> kunnen dergelijke projecten worden gezocht - en eigen ervaringen worden ingebracht.



Tabel 1 Selectie van afkoppelmaatregelen waarop de Beslisboom verantwoord afkoppelen is gebaseerd. Gebruik de vragen om maatregelen te selecteren met de betreffende kolom(men) van de tabel in Excel.

	Vraag	Mogelijke antwoorden / vereisten	Selecteer dan op kolom
Schaal	Op welke schaal kan ik maatregelen nemen (meerdere antwoorden mogelijk)?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gebouw (particulier)</li> <li>- Perceel / particulier terrein</li> <li>- Straat / openbaar terrein</li> <li>- Buurt / openbaar terrein</li> </ul>	B
	Wil je afkoppelen vanwege klimaatbestendigheid? (meerdere antwoorden mogelijk)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wateroverlast</li> <li>- Droogte</li> <li>- Waterkwaliteit</li> <li>- Hitte</li> </ul>	C D E F
Doel	Wat is het doel waarom je wilt afkoppelen (meerdere antwoorden mogelijk)?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Water (her)gebruiken</li> <li>- Infiltratie/grondwateraanvulling</li> <li>- Waterberging vergroten</li> <li>- Waterkwaliteit verbeteren</li> <li>- Vergroenen/verblauwen, biodiversiteit</li> <li>- Water zichtbaar, aantrekkelijk</li> </ul>	G H I J K L
	Hergebruik van water?	- Verwijdering geadsorbeerde verontreiniging $\geq 90\%$ en pathogenen $\geq 75\%$	R en S
	Lozing op zwemwater/ recreatiewater	- Verwijdering nutriënten $\geq 75\%$ , geadsorbeerde verontreiniging $\geq 90\%$ en pathogenen $\geq 75\%$	Q, R en S
	Infiltreren in slecht doorlatende grond met doorlatendheid $< 0,1$ m/dag	Infiltratie niet doelmatig. Gebruiken of bergen met vertraagde afvoer.	Combineer G en I
Bodemsituatie	Infiltreren in leemhoudend zand, klei en brikgronden (löss), dus gronden met een doorlatendheid $\geq 0,1$ en $< 0,75$ m/dag?	Altijd in combinatie met drainage	Combineer H en N
	Infiltreren bij een grondwaterstand (GHG) $< 1,0$ m-mv	Altijd in combinatie met drainage	Combineer H en O
	Hellend terrein ( $> 0,5\%$ ) (perceel, straat, buurt)?	J/D = combineer met drainage; J/C = combineer met compartimentering	P
	Waterwingebieden	Niet afkoppelen. Gebruiken of bergen met vertraagde afvoer.	Combineer G en I
	Grondwaterbeschermingsgebied en/of boringvrije zone Roerdalslenk of Venloschol?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geen Diepe grondwaterinfiltratie</li> <li>- Alleen als grond matig infiltreert (alleen <math>\leq i</math>)</li> <li>- Goede bodempassage noodzakelijk, zie hoofdstuk 2 in bijlage 'Bodemfilters bij infiltratie van afstromend regenwater'</li> </ul> Zie ook Art. 4.36, 4.37 en 4.38 Ontwerp Omgevingsverordening Limburg 2021	H In combi met M, N, O
	Bodem- of grondwaterverontreinigingslocatie? Ter plaatse van een mijndrempel?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niet infiltreren</li> <li>- Mogelijkheden bij mijndrempels worden nog nader onderzocht.</li> </ul>	H
Verhard oppervlak	Dakgoten?	Geen beperking; bij (ver)nieuwbouw liefst PVC of polyester toepassen	
	Dak- en gevelmateriaal: Bij koper, zink, lood?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geen hergebruik</li> <li>- Verwijdering geadsorbeerde verontreiniging <math>\geq 90\%</math></li> </ul>	G R
	Verkeersintensieve wegen (ADT $> 3000$ ); hoofdontsluitingswegen, parkeerterreinen bij winkelcentra, busstations, ; marktterreinen ... ?	- Verwijdering geadsorbeerde verontreiniging $\geq 90\%$ en pathogenen $\geq 75\%$	R en S
	Bedrijven(terreinen)	Maatwerk per bedrijf, afhankelijk van vervuilende activiteit(en) / Omgevingsvergunning	Q, R en S

## Onderzoek doorlatendheid

Voor infiltratie is ten minste een 2 meter dikke laag met een doorlatendheid van minimaal 0,1 m/dag nodig. Voor oppervlakken groter dan 200m<sup>2</sup> is onderzoek naar de doorlatendheid noodzakelijk.

Voor het onderzoek gelden de volgende eisen:

- K-waarden dienen in het veld c.q. middels laboratoriumproeven gemeten te worden.
- Het infiltratieonderzoek dient inzicht te geven in de laagopbouw en bijbehorende doorlatendheid van de bodem tot een diepte van minimaal 10,0 m-mv.
- Het infiltratieonderzoek dient inzicht te geven in de grondwaterstand d.m.v. meting (peilbuis).

## 4. Ontwerp en dimensioneren van voorzieningen

Het stedenbouwkundig ontwerpen en inpassen van afkoppelvoorzieningen is sterk afhankelijk van de lokale (huidige of toekomstige) situatie. Vragen die daarbij worden gesteld zijn onder andere: Waar is de meest geschikte ruimte? Hoe zit het met de beschikbare ruimte in de ondergrond? Worden maatregelen ook op particulier terrein genomen? Welke bijkomende baten zou ik willen realiseren (recreatie, groen, verkoeling, educatie,...)? Voor welke maatregelen is draagvlak, zowel bij de gemeente als bij de bewoners? Met de Toolbox Klimaatbestendige Stad (<https://kbstoolbox.nl/nl/>) kan iemand voor zichzelf verkennen welke maatregelen zijn/haar voorkeur hebben, maar de toolbox kan ook gebruikt worden om samen met andere partijen te komen tot een gezamenlijk antwoord op de vraag wáár wélke maatregelen gesitueerd kunnen worden. Zo'n gezamenlijk gemaakt voorstel heeft een groter draagvlak.

Voor het civieltechnisch ontwerpen van de genoemde voorzieningen bestaan diverse handleidingen en richtlijnen. Een goed overzicht daarvan is te vinden in de nationale Kennisbank van RIONED (<https://www.riool.net/kennisbank>). Regionaal is er bijvoorbeeld de Leidraad Infiltratievoorzieningen van het Samenwerkingsverband Westelijke Mijnstreek (2021)<sup>5</sup> en veel Limburgse voorbeelden zijn te vinden op [climatescan.nl](https://climatescan.nl). Toch blijkt er in de praktijk nog vaak het nodige fout te gaan<sup>6</sup>.

### 4.1 Ontwerp en aanleg

Enkele belangrijke aandachtspunten met betrekking tot het ontwerp en de aanleg worden hier nog eens benoemd. In paragraaf 5.2 wordt ingegaan op de dimensionering van de voorzieningen.

- Alle voorzieningen moeten zodanig worden aangelegd dat beheer en onderhoud zonder problemen is uit te voeren.
- Alle bergingsvoorzieningen moeten voorzien zijn van een noodoverloop; wanneer de voorziening vol is moet het water een veilige uitweg hebben naar een watergang, naar een berging op maaiveld of naar een regenwaterriool – maar zeker niet naar een gemengd riool; overbelasting mag niet leiden tot schade aan de constructie. Daarom dient aan de bovenkant van de voorziening een calamiteitenleegloop aangelegd te worden met een maximale afvoercapaciteit van 10L/s/ha.

---

<sup>5</sup> Samenwerkingsverband Westelijke Mijnstreek, 2021, *Leidraad Infiltratievoorzieningen; deel 2: Leidraad ontwerp, aanleg, beheer en monitoring infiltratievoorzieningen*. 20210215-BEK055-RAP, gemeente Stein / Kragten.nl

<sup>6</sup> Vollaers et al., 2020, Faalmechanismen van hemelwatersystemen, *Riolering*, april 2020

- Waterbergende infiltrerende voorzieningen moeten boven de gemiddelde hoogste grondwaterstand worden aangebracht (GHG) om de volledige berging te kunnen benutten.
- Is de omliggende grond redelijk, matig of slecht doorlatend – zie ook Tabel 2-, dan worden deze voorzieningen altijd aangelegd in combinatie met een drainagebuis in het omliggende, goed doorlatende bodemmateriaal (grof zand, grind, lava, gebroken argex) dat is gebruikt voor de grondaanvulling rondom de voorziening. Die drainagebuis fungeert dan als een voorziening waardoor de geborgen hoeveelheid water rustig kan afvloeien. Die drainagebuis loost, net als de noodoverloop, op een (regenwater)riool of een watergang.
- Grondwateroverlast ten gevolge van infiltrerende voorzieningen moet te allen tijde worden voorkomen. De opbouw van bodem en ondergrond is hierbij leidend. Ook in goed doorlatende gronden kan het daarom nodig zijn drainage aan te leggen. Infiltrerende voorzieningen worden ook niet dicht bij oude gevels aangelegd omdat het oude metselwerk vocht kan optrekken. Een afstand van ten minste 2 meter wordt aanbevolen.

Tabel 2 Doorlatendheid van de ondergrond en de selectie van passende maatregelen.

Overweging	Doorlatendheid	Selecteer dan op kolom
De doorlatendheid ( $k_{\text{horizontaal}}$ ) bepaalt de keuze tussen kolom M en N  Bronnen : <i>Cultuurtechnisch vademecum</i> (1988); Massop, HThL, JWJ van der Gaast en E Kiestra (2005) <i>De doorlatendheid van de bodem voor infiltratiedoelinden; Een gebieds-dekkende inventarisatie voor het Waterschap Peel en Maasvallei</i> . Rapport 1212, Alterra, Wageningen	Goed: > 0,75 m/dag; grof zand; leem-arm matig fijn zand	M
	Redelijk: 0,4 < k < 0,75 m/dag ; zwak tot sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand, lichte klei	N
	Matig: 0,1 < k < 0,4 m/dag	N
	Slecht: 0,01 < k < 0,1 m/dag	Vertraagd
	Zeer slecht: < 0.01 m/dag	afvoeren, I

- Een essentieel aandachtspunt bij infiltratievoorzieningen is de zwevende stof in het toestromende water, niet alleen vanwege de daaraan gebonden verontreiniging maar ook vanwege de verstoppende werking. Elke ondergrondse infiltratievoorziening moet worden voorzien van een voorzuivering (een grofvuil-filter en een sedimentvang, dus beter dan een zandvang). Bovengrondse infiltratievoorzieningen zijn minder gevoelig voor verstopping (dichtslibben) als ze zijn voorzien van een goed ontwikkelde graszode. Maar ook bij die voorzieningen is het goed om twee compartimenten te maken. Een eerste compartiment waarin het meegevoerde sediment kan bezinken voordat het water verder stroomt naar het eigenlijke infiltratie-deel.
- Tijdens het bouwrijp maken komt veel sediment vrij. Het heeft daarom de voorkeur om infiltratievoorzieningen pas in de woonrijp-fase aan te leggen en in gebruik te nemen.
- Het geotextiel dat in sommige voorzieningen en rond drains wordt gebruikt moet een grof, non-woven doek zijn, met een  $O_{90\%}$ <sup>7</sup> waarde van 200-450  $\mu\text{m}$  (of zelfs wat hoger) wanneer het doek in een zandige laag ligt en van 200 - 300  $\mu\text{m}$  in silt, löss- of leemgrond. Geweven doek raakt snel verstopt.
- Ondergrondse bergings-/infiltratievoorzieningen zijn gevoelig voor wortelingroei. Bomen staan daarom niet met hun kruin boven de voorziening. Drains en DIT-riolen worden beschermd door ze permanent vol water te laten staan, dus zo mogelijk onder het peil van het oppervlaktewater aan te leggen.

<sup>7</sup>  $O_{90\%}$  is de karakteristieke opening van de poriën in het doek [ $\mu\text{m}$ ] volgens NEN-EN-ISO 12956

- Let op de weersomstandigheden waaronder infiltratievoorzieningen worden aangelegd. Onder natte omstandigheden is het risico van versmering en dichtslibben groot. Daarom dienen deze voorzieningen te worden aangelegd bij droog weer in een niet-drassige bodem.

#### 4.2. Dimensionering

Om de afvoer zo goed mogelijk te beheersen is het belangrijk om het water al in de haarvaten van het systeem vast te houden, dus zo dicht mogelijk bij de plek waar de neerslag is gevallen. Kan de stroom water zich concentreren dan wordt het steeds moeilijker om die te beheersen.

De te realiseren bergingscapaciteit in een voorziening hangt af van het type voorziening, de vereiste bergingscapaciteit, de toelaatbaar geachte afvoercapaciteit, het aangesloten afvoerend oppervlak en de ontwerp-infiltratiecapaciteit richting bodem en grondwater. Hoewel het ideaal is de bergingscapaciteit zoveel mogelijk egaal over een gebied te verdelen zullen wellicht niet alle voorzieningen even groot uitgevoerd kunnen worden. In alle gevallen zal het afstromende regenwater voldoende gradiënt moeten hebben om vanaf het toeleverend verhard oppervlak toe te stromen naar de bergingsvoorziening; een eis die in vlakke gebieden niet altijd eenvoudig te realiseren is.

#### **Uitgangspunten en eisen Waterschap Limburg**

Conform de regels van het Waterschap Limburg is het lozen van hemelwater afkomstig van verhard oppervlak op (alle) oppervlaktewater altijd vergunningplichtig. Meer informatie daarover vindt u op <https://www.waterschaplimburg.nl/overons/regels-wetgeving-0/melding-vergunning/>. De uitgangspunten en eisen die het Waterschap stelt met betrekking tot bergings-/infiltratievoorzieningen staan opgenomen in de “Keur van Waterschap Limburg 2019”. Het Waterschap hanteert op basis van deze keur voor deze voorzieningen die lozen op oppervlaktewateren de volgende uitgangspunten:

1. Bij uitbreiding van verhard oppervlak wordt regenwater middels infiltratievoorzieningen/ dynamische bergingsvoorzieningen door de initiatiefnemer terug in de bodem gebracht (waterneutraal bouwen).
2. Onder dynamische berging wordt verstaan de berging die te allen tijde beschikbaar is voor het bergen van hemelwater. Bij bergingen die in open verbinding staan met het grondwater hanteren we de ruimte boven de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG).
3. Ook bij kleine ontwikkelingen vangt de initiatiefnemer zijn eigen water op. Wij hanteren geen ondergrens.
4. Dimensioneren op een neerslaggebeurtenis met een herhalingstijd van 1:100 op basis van het gemiddeld klimaatscenario 2050. Voor Noord- en Midden-Limburg dient hierbij een regenbui van 24 uur te worden gehanteerd, zijnde 100 mm. Voor Zuid-Limburg geldt in afwijking hiervan bij maatwerk een bui duur van twee uur, zijnde 80 mm. Dit, omdat in Zuid-Limburg een korte bui meer bepalend is voor de benedenstroomse belasting dan een langdurige bui.
5. Als infiltratie aantoonbaar niet of nauwelijks mogelijk is, kan een dynamische berging/infiltratievoorziening worden aangelegd met een leegloopvoorziening richting oppervlaktewater. Om afwentelen naar benedenstrooms te voorkomen, mag in Noord- en Midden-Limburg maximaal 2 L/s/ha worden geloosd en in Zuid-Limburg maximaal 10 L/s/ha. De daartoe benodigde bergingen mogen zo nodig ook in de nabije omgeving van de betreffende ontwikkeling worden gerealiseerd door de initiatiefnemer.

6. Bij grote ontwikkelingen (>50 ha) dient de initiatiefnemer altijd modelmatig aan te tonen dat dit benedenstrooms niet tot problemen leidt.
7. Bij berging in oppervlaktewater dient boven de inhoud van een dynamische berging een waking gehanteerd te worden van minimaal 25 cm. Geadviseerd wordt een waking te hanteren van 50 cm.
8. Bij wijziging van de lozingssituatie van bestaand verhard oppervlak is realisering van voorgeschreven waterberging niet in alle situaties redelijkerwijs mogelijk. In die situaties streeft het waterschap naar een redelijkerwijs zo maximaal mogelijke bergingsomvang.

Voor de overwegingen en verdere toelichting van de hiervoor genoemde uitgangspunten wordt verwezen naar de Keur Waterschap Limburg 2019, de uitvoeringsregels Keur Waterschap Limburg 2019 (hoofdstuk 11.1) en de Beleidsregels Keur Waterschap Limburg 2019 (hoofdstuk 10)<sup>8</sup>.

### **Groene daken**

De uitvoeringsvormen van groene daken zijn heel verschillend en dat geldt ook voor de beschikbare berging. De Beslisboom gaat voor een sedumdak uit van een berging van 4 mm. Deze mag afgetrokken worden van de totaal benodigde hoeveelheid berging. Bij andere type groene daken (polderdak e.d.) kan de hoeveelheid extra berging van het dak hoger zijn. De extra berging die afgetrokken mag worden (bovenop de 4 mm) moet de initiatiefnemer onderbouwen op basis van wetenschappelijk onderbouwde documentatie. Het is aan de beleidsmedewerker water te besluiten hoeveel extra berging door het voorgestelde type groene dak zal worden afgetrokken van de totale hoeveelheid te realiseren berging.

### **Rekenvoorbeeld Groene daken**

Voor de bouw van een individuele woning in Zuid Limburg is het totale afvoerende oppervlak 120m<sup>2</sup>. Dat vraagt een berging van 9,6 m<sup>3</sup> (eis is 80 mm). Het dak van 60m<sup>2</sup> wordt uitgevoerd met een sedumdak. De aftrek is dan 4\*60 liter, 240 liter. De resterende bergingsopgave in de infiltratievoorziening of voorziening voor berging en vertraagde afvoer is dan 9,6 -/ 0,24, dat is 9,26 m<sup>3</sup>. Bij de uitvoering als (plat) polderdak met een berging van 50 mm gaat er aanvullend 60\*(50-4) is 2,76 m<sup>3</sup> extra af. De resterende opgave is dan 9,26-2,76 en dat is 6,6 m<sup>3</sup>. De laatste stap geldt alleen als de betrokken beleidsmedewerker water de onderbouwing van de berging en afvoer van het dak goedkeurt. Anders blijft de opgave 9,26 m<sup>3</sup>.

### **Uitgangspunten en eisen gemeenten**

Voor het afvoeren van water naar gemeentelijk voorzieningen (niet zijnde oppervlaktewateren) gelden bergingsnormen van de betreffende gemeente. Die berging wordt dan gevonden in bergingsruimten ondergronds, op, in of onder gebouwen, onder wegen of parken. Past de gemeente lagere normen toe, dan wordt daarmee de kans op lokale wateroverlast vergroot. Voor de lozing van een gemeentelijke voorziening op oppervlaktewater gelden de hierboven genoemde eisen uit de Keur van het waterschap. Op het overgangspunt tussen de gemeentelijke voorziening en het oppervlaktewater is dan een extra bergingsvoorziening nodig.

## 5. Beheer en onderhoud van voorzieningen

Het beheer en onderhoud van de afkoppelvoorzieningen is gericht op het goed blijven functioneren – ook wat betreft de functies en diensten die de voorziening vervult in aanvulling op de

---

<sup>8</sup> <https://www.waterschaplimburg.nl/overons/regels-wetgeving-0/wetten-regels/keur/>

waterhuishoudkundige - en het verlengen van de levensduur. Het beheer en onderhoud van de genoemde voorzieningen verschilt vaak sterk van het traditionele rioolbeheer. In veel gevallen is er een relatie met groenbeheer en/of met wegbeheer. En vaak ook met particuliere terreineigenaren.

### 5.1 Goed beheer

Goed beheer begint bij het nauwkeurig vastleggen wat er is aangelegd of gewijzigd. Juist de gegevens en de werkelijke locatie van ondergrondse voorzieningen en leidingen moeten zorgvuldig in kaart worden gebracht. Revisies van de ontwerptekeningen moeten daarom snel worden doorgevoerd.

Zorgen dat de boel niet verstopt en niet vervuild raakt, is vaak de eerste prioriteit van de beheerder; regelmatig schoonmaken van het grofvuil filter en de sedimentvang van voorzieningen is essentieel. Hoe vaak dat moet gebeuren hangt volledig af van de situatie en het weer; na een zware bui kan onderhoud dringend gewenst zijn. Maar belangrijk is dat deze activiteiten zijn opgenomen in een regulier onderhoudsschema, net als kolken zuigen.

Een 'piep'systeem voor beheer en onderhoud – in actie komen na klachten van burgers - is voor de meeste voorzieningen funest voor de levensduur. Reparatie achteraf is vaak slechts te dele mogelijk.

Hetzelfde geldt voor het onderhoud van de begroeiing; het gras moet af en toe worden gemaaid en afgevoerd. Dat hoeft niet tweewekelijks zoals bij een sportveld, maar twee keer per jaar is vaak te weinig. Belangrijk is daarbij dat het onderhoud wordt uitgevoerd onder goede weersomstandigheden en met de juiste apparatuur, zodat de bodem niet wordt dichtgereden. Het onderhoudsregime is natuurlijk afhankelijk van het soort begroeiing..

Essentieel is ook het onderhoud van drainagebuizen en andere afvoerleidingen. Raken die verstopt dan faalt de voorziening. Die drainage is vaak essentieel voor het rustig afvoeren van het in infiltratievoorzieningen verzamelde water dat niet snel genoeg infiltreert naar het grondwater. Reguliere onderhoudsprogramma's zijn ook voor deze voorzieningen essentieel. Hoe vaak onderhoud nodig is hangt weer af van de situatie. Met name in gebieden met ijzerhoudend (bruin) grondwater dreigen drainageleidingen snel te verstopen en is minimaal jaarlijks onderhoud nodig.

De kwaliteit van het water dat in de voorzieningen stroomt hangt mede af van de activiteiten en het beheer en onderhoud van het toeleverend afstromend oppervlak. Vinden daar verontreinigende activiteiten plaats en wordt er weinig tot geen passend beheer en onderhoud gepleegd, dan neemt de belasting van de voorzieningen met verontreinigingen toe. In onderstaande tabel 3 een aantal aandachtspunten t.a.v. de aanpak van relevante bronnen.

Meer informatie over de invulling van goed onderhoud vindt u in paragraaf 5.2 in de bijlage 'Bodemfilters bij infiltratie van afstromend regenwater'.

Tabel 3. Hoe kunnen we diverse bronnen van verontreiniging aanpakken?

Bronnen aanpak	Foutieve aansluitingen in regenwaterafvoeren?	Regelmatig controleren, publiek informeren en handhavend optreden
	Bestrijdingsmiddelen	Voorlichting en communicatie:  Gebruik zoveel mogelijk beperken;  bij gebruik aanbevolen dosering niet overschrijden
	(Kunst)mest	Voorlichting en communicatie:  Gebruik zoveel mogelijk beperken

	Verkeer	Verkeersluw maken Strooizout zoveel mogelijk beperken Bij hoge verkeersintensiteit niet afkoppelen
--	---------	--

Om de verontreiniging bij calamiteiten beheersbaar te houden is het van belang om de mogelijkheid te hebben delen van het afwateringsstelsel af te sluiten – zo mogelijk voordat het water kan infiltreren in de bodem. Daartoe kunnen afsluiters worden geplaatst of dient ten minste de mogelijkheid te worden geboden om op strategische plekken snel afsluiters te kunnen plaatsen. Die plekken moeten dan ook bekend zijn bij de beheerder en de brandweer.

Monitoring (én evaluatie van de uitkomsten!) is van groot belang voor het beheer en onderhoud. Visuele inspectie van het functioneren bij / direct na slecht weer – onder andere om te kijken of de dynamische berging tijdig weer beschikbaar is - is eenvoudig uit te voeren. De bevindingen moeten worden bijgehouden in een logboek.

Een goed grondwatermeetnet in de buurt van infiltrerende voorzieningen is een vereiste. Door een meetbuis in of direct naast de voorziening te plaatsen kan een verstopping meestal snel gesignaleerd worden. Het functioneren van een wadi, regentuin of van doorlatende verharding kan ook worden getest door ‘full scale’ infiltratieproeven.

Aanbevolen wordt om af en toe ook de kwaliteit van het water en het opgehoopte sediment te beoordelen. De frequentie daarvan zal afhangen van de hoeveelheid vervuilende activiteiten in het gebied; eenmaal per vijf jaar lijkt gemiddeld een goede meetfrequentie. Het analysepakket moet uiteraard worden toegespitst op het type verontreiniging dat wordt verwacht en op de waterkwaliteitseisen die worden gesteld in het ontvangende water.

Meer informatie over monitoring vindt u in paragraaf 5.2 van de bijlage ‘Bodemfilters bij infiltratie van afstromend regenwater’.

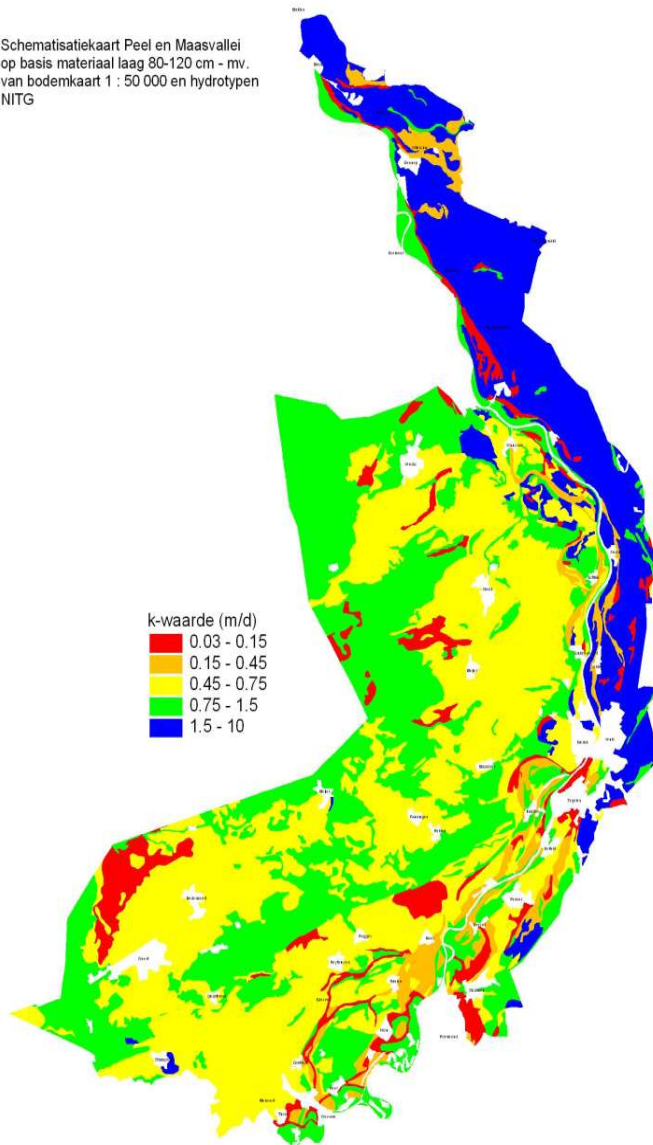
## 5.2 Voorlichting en communicatie

Het goed functioneren van de voorzieningen valt of staat vaak met het gedrag van de bewoners. Regelmatig zien we situaties waarin bewoners niet weten ‘hoe de boel in elkaar steekt’. Olie, verf of andere verontreinigende stoffen worden snel geloosd in een straatkolk “want dat water gaat toch naar de zuivering...” Zo niet bij een regenwaterriool. Maar wie heeft nou door dat in de wijk een gescheiden rioolstelsel ligt, of zelfs een infiltratiestelsel? Voorlichting aan het brede publiek is daarom van groot belang. Op scholen, bij de doe-het-zelf-winkels, in de stadskrant en met informatiebijeenkomsten voor de medewerkers van bouw- en aannemingsbedrijven. Informatieborden en aangepaste kolkdeksels, zoals weergegeven in bijgaande foto’s dragen bij aan dat bewustzijn. Belangrijk is ook dat burgers weten waar ze problemen kunnen melden en dat er snel een eerste opvolging op hun melding plaatsvindt.



## Bijlage 1. Doorlatendheden

Schematisatiekaart Peel en Maasvallei  
op basis materiaal laag 80-120 cm - mv.  
van bodemkaart 1 : 50 000 en hydrotypen  
NITG



### Globale horizontale doorlatendheid

grondsoort	doorlatendheid (m/dag)
zware klei	0.0001
potklei	0.001
matig zware klei	0.01
zandige klei	0,05
keileem	0,05
veen	0.001 - 0.1
kleig veen	0,005
sterk zandig veen	0,05
leem/löss	0,05
zandige leem	0,3
lichte zavel	0,5
teelaarde	5
schelpen	30
fijn zand	1 - 10
duinzand	7
grof zand	30
zeer grof zand	80
uiterst grof zand	200
fijn grind	1.000 - 10.000
grof grind	10.000 - 100.000

Links K-waarden kaart Noord Limburg<sup>9</sup>

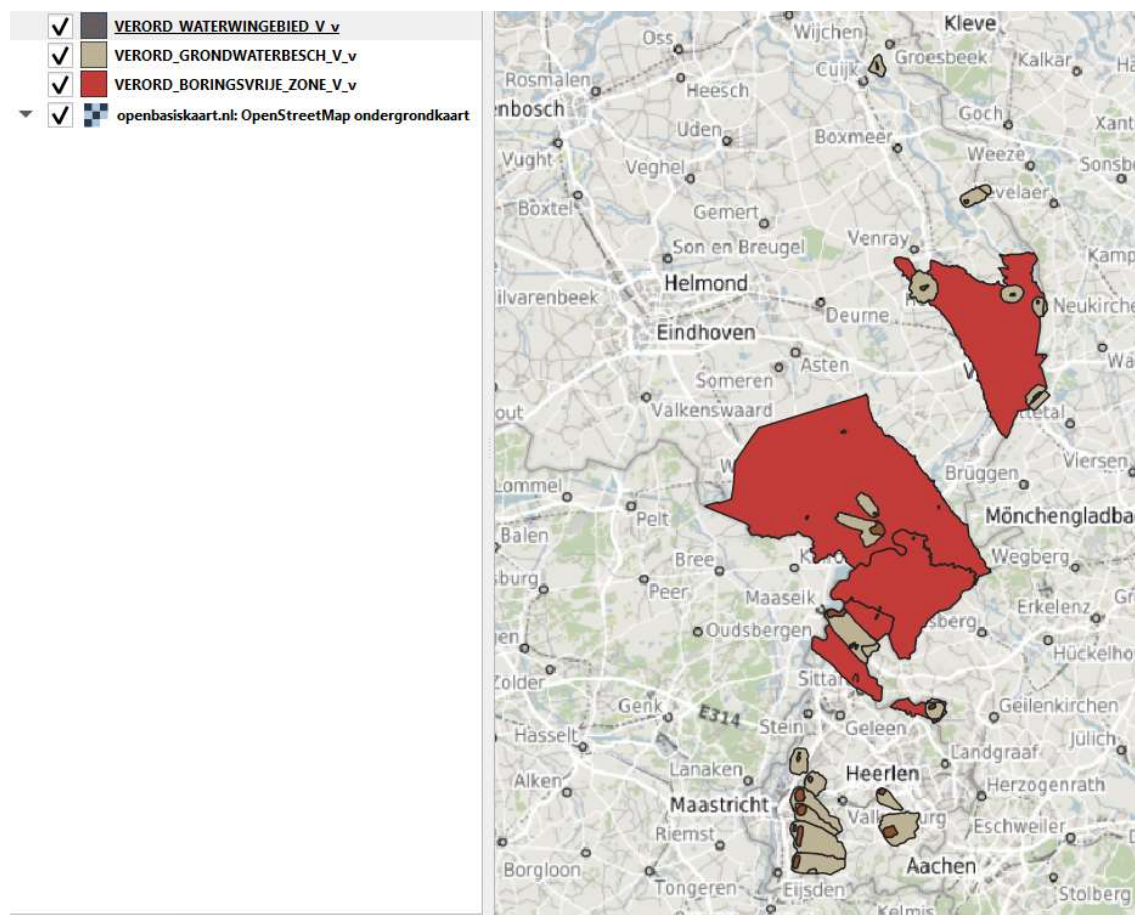
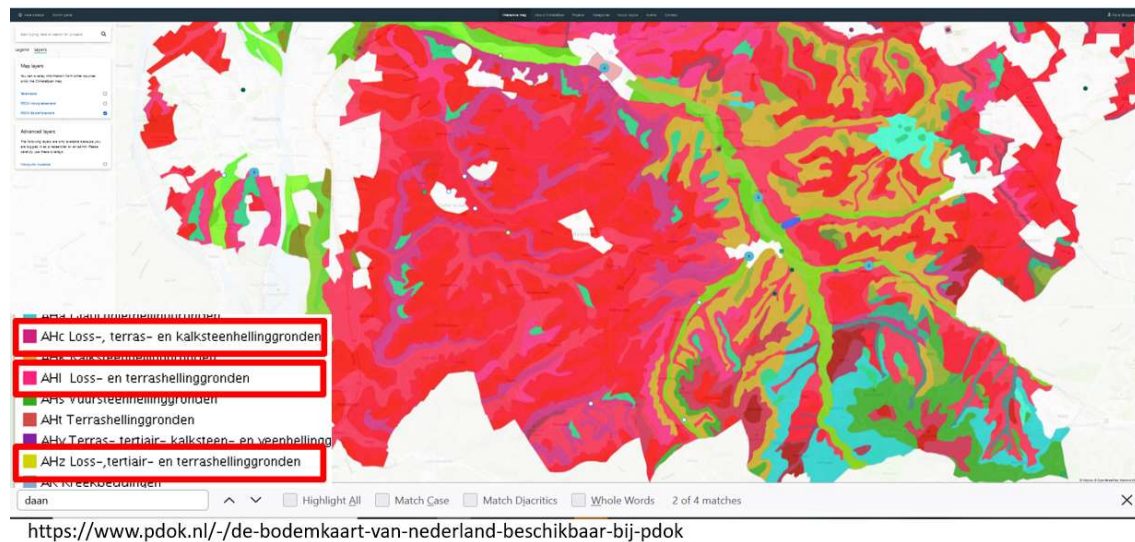
Rechts: globale doorlatendheden<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Massop, HThL, JWJ van der Gaast en E Kiestra (2005) *De doorlatendheid van de bodem voor infiltratiedoeleinden; Een gebiedsdekkende inventarisatie voor het Waterschap Peel en Maasvallei*. Alterra Rapport 1212, Alterra, Wageningen.

<sup>10</sup> <http://grondwaterformules.nl/index.php/vuistregels/ondergrond/doorlatendheid-per-grondsoort>



## Bijlage 2 Informatie beschikbaar in Climatescan.nl



In waterwingebieden niet of beperkt infiltreren; zie selectietabel 1

## Bijlage 3. Baten van blauw-groene maatregelen

Vaak genoemde baten van blauw-groene maatregelen:

- Goedkoper
- Reductie wateroverlast (opgave)
- Verbetering waterkwaliteit
- Verbetering leefkwaliteit
  - Groen blauw
  - Urban Heat Islands
- Hergebruik water
- Minder energiegebruik
- Betere luchtkwaliteit
- CO2 reductie
- Esthetica van de wijk
- Verhoging waarde huizenprijzen
- Bodemdaling beperken
- Sociale waarde
  - Urban farming
- Ecologie
- Educatie

## Bijlage 4. Toelichting afkoppelmaatregelen

In onderstaande tabel een korte toelichting op de zes vaak gekozen maatregelen in Limburg. Voor een beschrijving van alle maatregelen zie bijvoorbeeld de [handout van de Toolbox Klimaatbestendige Stad](#) of <https://nl.urbangreenbluegrids.com/measures/> of tool <https://climatescan.nl>

In aanvulling hierop nog een korte toelichting op de prestatiecijfers van een drietal maatregelen.

### *Verskil in prestatiecijfers infiltratiekratten en DIT-riolen:*

Het verschil in prestatie vloeit voort uit het verschil in constructie. Het water dat vanuit de kratten wordt afgevoerd is gezuiverd door bezinking in de (voorgeschakelde) zand/sedimentvang en vervolgens door bezinking en afbraak (verblijftijd) van het water in de kratjes, Daarna door (in)filtratie vanuit het kratje naar de drain die in de buurt ligt of naar het grondwater en uiteindelijk naar een waterloop die nog veel verder weg ligt. Resultaat is een goede reiniging. Daar tegenover staat het DIT-riool. Dat staat in direct contact met het grondwater (buis ligt dieper dan het grond- en oppervlaktewaterpeil) en in direct contact met het oppervlaktewater, vergelijkbaar met een lekkend regenwaterriool. Afstromend regenwater dat door die buis wordt afgevoerd zal voor een klein deel infiltreren, maar de rest wordt direct afgevoerd. Het kleine deel dat infiltreert zal enkele uren na de bui wel weer afstromen naar het oppervlaktewater (vertraagd dus), maar dan is het wel in de bodem geïnfilteerd geweest en daarmee gefilterd en gezuiverd. Maar dat is maar een fractie van de totaal afgevoerde hoeveelheid en dus is de zuiveringsscore laag (10-20%). De bruikbaarheid van DIT-riolen in beperkt/slecht doorlatende gronden is daarom maar één uitroepteken, terwijl kratten twee uitroeptekens scoren in combinatie met drainagemaatregelen. En datzelfde gaat op voor toepassing in gebieden met een hoge grondwaterstand.

### *Holle weg*

Bij de prestatiecijfers is uitgegaan van een holle weg met berging op het wegdek/maaiveld. Geen rekening is gehouden met “waterbergende weg”-constructies, waarbij water in het wegcunet wordt geborgen. Ga voor die constructie uit van dezelfde cijfers als waterdoorlatende verharding.

Tabel Bijlage 4.1. Zes vaak gekozen afkoppelmaatregelen in Limburg

<p><b>Wadi</b></p> 	 <p>Wadi in Leunen <a href="https://climatescan.org/projects/3886/detail">https://climatescan.org/projects/3886/detail</a> meer dan 1500 voorbeelden van wadis in Nederland: <a href="https://www.climatescan.nl/#filter-1-1">https://www.climatescan.nl/#filter-1-1</a></p>	<p>Een wadi is een beplante greppel met een doorlatende bodem en eronder een in geotextiel ingepakte grindkoffer met een infiltratie- en drainagebuis. Deze is daarmee geschikt voor berging, infiltratie en afvoer van regenwater terwijl ze tevens een bijdrage levert aan de vergroting van de biodiversiteit en de leef kwaliteit.</p>
--	---	--

## Groene daken



Groendak Maasduinen

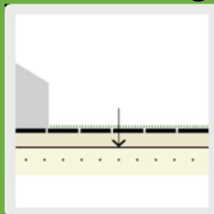
<https://climatescan.org/projects/6877/detail>

>400 voorbeelden categorie groene daken:

<https://www.climatescan.org/#filter-1-4>

‘Groene daken’ is een verzamelbegrip voor beloopbare beplante daken en beplante hellende daken, en omvat o.a. mos / sedum / gras /kruiden / struiken. Groene daken bufferen regenwater tot op zekere hoogte. Ze zijn niet geschikt om extreme neerslag te bufferen omdat ze dan verzadigd raken. Groene daken dragen positief bij aan de biodiversiteit en kunnen een positief effect hebben op o.a. hittestress, luchtkwaliteit en de isolatiewaarde.

## Water passerende verharding/ Waterdoorlatende verharding



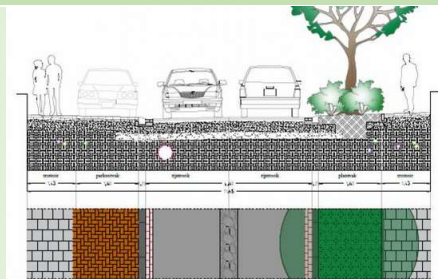
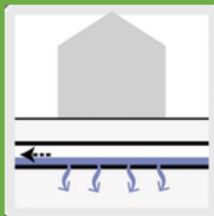
<https://climatescan.org/projects/3901/detail>

Waterpasserende verharding Heden  
Meer voorbeelden:

<https://climatescan.nl/#filter-1-3>

Waterdoorlatende bestrating bestaat uit poreus materiaal dat regenwater doorlaat. Daarbij kan water zowel in de bovenste toplaag (bijvoorbeeld poreus asfalt), als ook in de fundering worden opgeslagen. Naast het vertragen van de waterafvoer, kan waterdoorlatende bestrating vervuilende stoffen opvangen en filteren. Bij waterpasserende verharding is de steen zelf niet doorlatend en ‘passeert’ het water alleen door de spleten tussen de stenen

## Ondergrondse infiltratie: DIT riool



IT riool Heerlen

<https://www.climatescan.org/projects/7826/detail>

meer voorbeelden

<https://climatescan.nl/#filter-1-5>

Een riool in de vorm van een met geotextiel omwikkelde geperforeerde horizontale buis draineert de bodem, laat het water infiltreren en voert het daarnaast af. Dergelijke voorzieningen worden toegepast naast verharde oppervlakken of naast onverharde oppervlakken waar geen ruimte is voor een infiltratiegreppel of waar de doorlatendheid van de bodem te gering is.

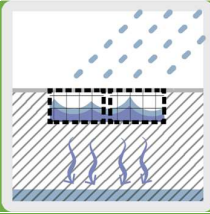
## Ondergrondse infiltratie: Infiltratiekrat



Kratten in Stationsweg Zwolle

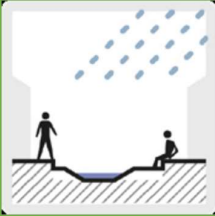
Ondergrondse infiltrerende waterberging in de vorm van een kratten omhuld met goed doorlatend geotextiel en grof zand. In slecht doorlatende gronden wordt in dit zand een drainbuis aangebracht. Anders dan infiltratieriolen zijn deze ‘lekkende kratten’ een compacte vorm waar veel m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> geborgen kan worden.





<https://www.climatescan.org/projects/5395/detail>

## Waterplein



**Waterplein Brunssum**

<https://www.climatescan.org/projects/4101/detail>

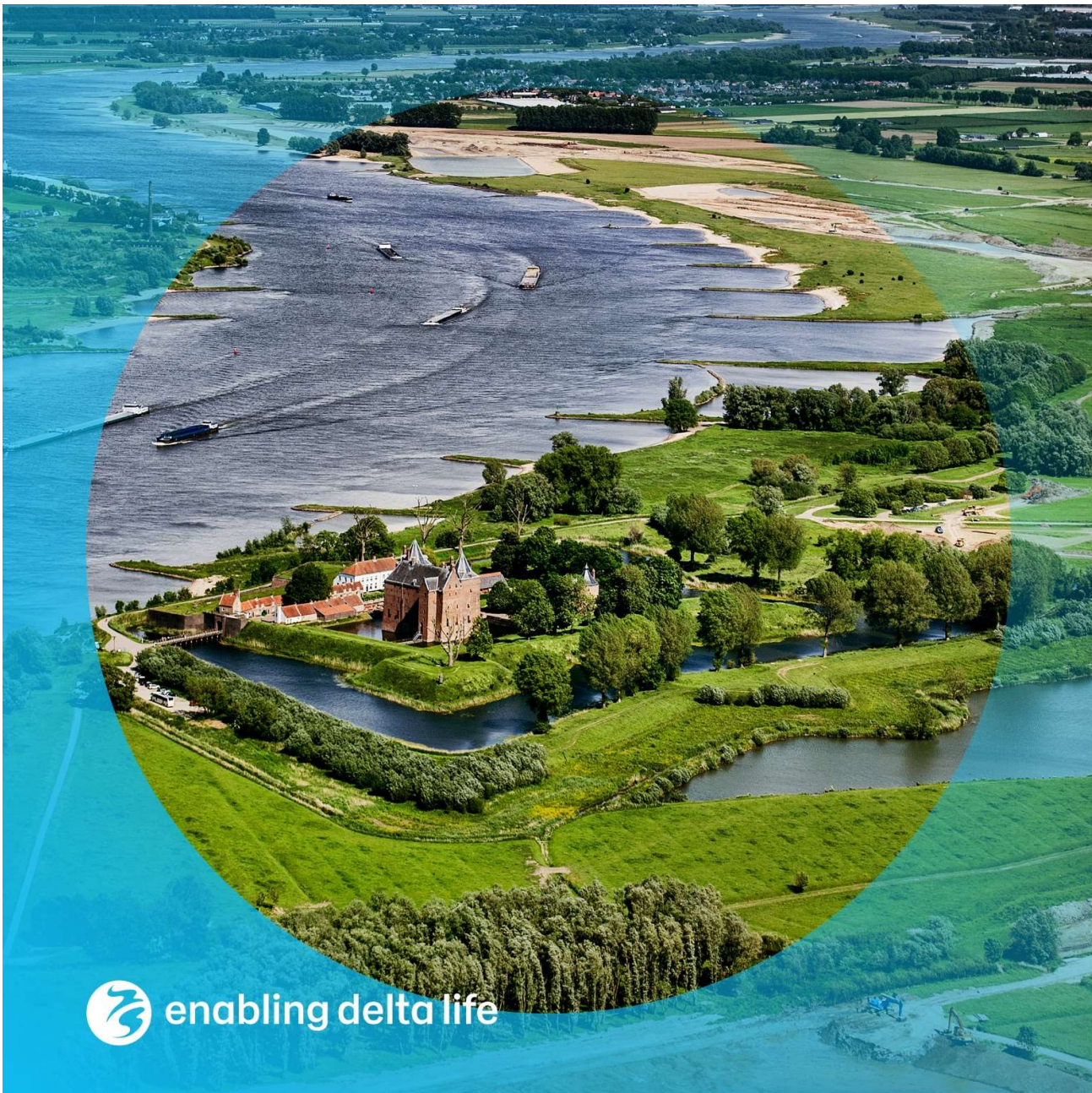
**meer waterpleinen**

(<https://climatescan.nl/#filter-1-40>)

In verschillende steden zijn voorzieningen voor regenwaterretentie ontworpen in de openbare ruimte. Bij deze voorzieningen, de waterpleinen, is een koppeling gelegd met andere stedelijke functies zoals speelvoorzieningen, groen en verblijfsfuncties. Waterpleinen worden toegepast in binnenstedelijke gebieden waar weinig ruimte is voor waterbuffering en waar infiltratie door de hoge grondwaterstanden niet mogelijk is.

## Bijlage 'Bodemfilters bij infiltratie van afstromend regenwater'

# Bodemfilters bij infiltratie van afstromend regenwater



 enabling delta life

## Bodemfilters bij infiltratie van afstromend regenwater

<b>Opdrachtgever</b>	Provincie Limburg
<b>Contactpersoon</b>	Eric Castenmiller
<b>Referenties</b>	
<b>Trefwoorden</b>	Bodemfiltratie, afstromend regenwater, afkoppelen

Documentgegevens	
<b>Versie</b>	0.1
<b>Datum</b>	07-04-2023
<b>Projectnummer</b>	11209401-002
<b>Document ID</b>	-
<b>Pagina's</b>	24
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	concept Dit document is een concept en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

Auteur(s)	
	Laura Nougues Floris Boogaard Frans van de Ven

***Gebruik van deze tabel is voor de controle van de juiste uitvoering door Deltares van de opdracht. Ieder ander klantgebruik en externe verspreiding is niet toegestaan.***

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord
0.1			



# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
1.1	Context	4
1.2	Onderzoeksdoel	4
1.3	Leeswijzer	4
<b>2</b>	<b>Richtlijn bodemfilters</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Voorbehandeling van afstromend regenwater</b>	<b>7</b>
3.1	Verwachte verontreiniging in relatie tot type terrein	7
3.2	Filterkeuze in relatie tot verontreiniging	10
<b>4</b>	<b>Filter samenstelling</b>	<b>11</b>
4.1	Buitenlandse ervaring	12
<b>5</b>	<b>Eisen ten aanzien van de aanleg, beheer van de voorziening en de monitoring</b>	<b>14</b>
5.1	Aanleg	14
5.2	Onderhoud	14
5.3	Monitoring	15
<b>6</b>	<b>Praktijkvoorbeelden en technische tekeningen</b>	<b>16</b>
<b>7</b>	<b>Referenties</b>	<b>20</b>
<b>A</b>	<b>Checklist voor bouwprocedure</b>	<b>22</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Context

In aansluiting op het Spoorboekje Verantwoord Afkoppelen hebben Provincie Limburg en Waterschap Limburg behoefte aan een nadere uitwerking van de richtlijnen voor ontwerp, aanleg en beheer van bodemfilters / bodempassages die nodig zijn om water te zuiveren voordat het via infiltratieputten in de ondergrond wordt gebracht. Informatie is nodig over:

- Het **ontwerp** van deze voorzieningen. De vormgeving en samenstelling van het filter, mede in relatie tot het type terrein dat is aangesloten c.q. de mogelijke verontreiniging van het afstromende water
- Specifieke eisen ten aanzien van de **aanleg**
- Eisen met betrekking tot het **beheer** van de voorziening en de monitoring

Dit ook ter aanvulling en onderbouwing van de richtlijnen die de provincie, de Limburgse waterschappen en Rijkswaterstaat Limburg eerder hebben geformuleerd in de brochure *Regenwater schoon naar beek en bodem* (2005).

## 1.2 Onderzoeksdoel

Nadere uitwerking van de eisen die moeten worden gesteld aan bodemfilters die nodig zijn om water te zuiveren voordat het via infiltratieputten in de ondergrond wordt gebracht. Dit betreft de eisen die worden gesteld aan de samenstelling van het filter, de vormgeving, de aanleg, het beheer en de monitoring. Deze zullen worden vastgelegd in een korte richtlijn, met een onderbouwende toelichting met (inter)nationale referenties, tekeningen en praktijkvoorbeelden.

De eisen die worden gesteld aan de voorzuivering van water dat wordt geïnfiltreerd in putten hebben tot doel om te voorkomen dat grondwater in de diepere ondergrond verontreinigd raakt. Saneren van een verontreiniging is meestal complex, tijdrovend en kostbaar. Voorkómen is beter dan genezen. Ook ondiepe infiltratievoorzieningen kunnen profiteren van een bodemfilter als voorzuivering. Wadi's zijn standaard voorzien van een zuiverende bodemlaag, maar geadviseerd wordt om het water dat via infiltratiekratten wordt geïnfiltreerd ook voor te zuiveren, zeker als het toeleverend verhard oppervlak verontreinigd is. Om verstoppingen en verontreiniging van bodem en ondiep / freatisch grondwater te voorkomen adviseert RIONED (2007) in alle gevallen een zandvang als voorfilter te plaatsen. De gepresenteerde eisen, richtlijnen en voorbeelden zijn, soms na enige aanpassing, dus ook bruikbaar voor andere regenwatervoorzieningen dan infiltratieputten.

## 1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt als eerste de voorgestelde Richtlijn bodemfilters beschreven. De richtlijn geeft een kort overzicht van de kernelementen van de filtersamenstelling, de aanleg en het beheer van de voorzieningen. In de daaropvolgende hoofdstukken worden de verschillende aspecten van de bodemfilters verder toegelicht. Hoofdstuk 3 zoomt in op de kwaliteit van afstromend regenwater en de behoefte om dit voor te behandelen voordat het naar het grondwater wordt afgevoerd. In Hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de filtersamenstelling. Hoofdstuk 5 gaat in op de eisen met betrekking tot de aanleg, onderhoud en monitoring van de voorziening. Tot slot worden er in Hoofdstuk 6 enkele praktijkvoorbeelden en tekeningen getoond.

## 2 Richtlijn bodemfilters

Afstromend regenwater kan vervuild zijn afhankelijk van waar het valt (Boogaard et al., 2020). Door bodemfilters toe te passen als zuiverende voorziening is het mogelijk om de concentratie verontreinigde stoffen te beperken voordat het water wordt geïnfiltreerd: die worden opgevangen door de bodem en vegetatie.

De samenstelling, vorm en beheer van een bodemfilter kan variëren afhankelijk van het type voorziening en de specifieke toepassing. In veel landen is ervaring opgedaan met het gebruik van bodemfilters en zijn nationale richtlijnen opgesteld rond gebruik, samenstelling en beheer, zoals in Hoofdstuk 4 en 5 te zien is. Uit deze informatie zijn de volgende waarden afgeleid die kunnen dienen als richtlijn bij het onderwerpen van een bodemfilter.

### Gebruik van een bodemfilter

Gebruik van een bodemfilter ter voorzuivering van afstromend regenwater wordt aanbevolen voor al het water dat afstroomt naar infiltratievoorzieningen (DWA, 2020). Zijn alleen licht verontreinigde oppervlakken zoals daken, tuinen en voetpaden aangesloten dan kan worden volstaan worden met een bezinkvoorziening, voorzien van een bypass voor zware buien, die voorkomt dat het gesedimenteerde materiaal niet uitspoelt bij hogere stroomsnelheden (NB een straatkolk voldoet in het algemeen niet aan deze randvoorwaarde). Conceptuele tekeningen van bodemfilters zoals aangetroffen in de literatuur zijn opgenomen in Hoofdstuk 6.

### Samenstelling van het bodemfilter

Hoewel de richtlijnen in de verschillende landen enigszins uiteenlopen worden voor Limburg de volgende parameters als randvoorwaarden voorgesteld.

Tabel 1: Aanbevolen parameters voor de samenstelling van bodemfilters

Parameter	Eenheid	Waarde
Filter dikte	m	0.3 – 0.5
Lutumgehalte (< 2 µm)	%	< 4, bij voorkeur lager
Organische stofgehalte	%	2 - 5
Aanbevolen (MKULNV, 2016) Lutum + silt ( 63 µm)	%	< 1
Aanbevolen (MKULNV, 2016) Carbonaatgehalte (CaCO <sub>3</sub> )	%	> 20
Aanbevolen (DWA, 2020) Maximale doorlatendheid	m/s	1 * 10 <sup>-3</sup>
Aanbevolen (DWA, 2020) Minimale doorlatendheid	m/s	1 * 10 <sup>-6</sup>

## Aanleg, beheer en onderhoud

De Duitse checklist voor de aanleg van de voorzieningen is opgenomen in Bijlage A. Goed beheer en onderhoud start met monitoring. Alle resultaten en bevindingen moeten worden bijgehouden in een logboek. Visuele inspectie van het functioneren bij / direct na slecht weer – om verstopping te constateren - is eenvoudig uit te voeren.

Grondwatermetingen geven inzicht in het functioneren ondergronds. Infiltratieproeven en bepalingen van de kwaliteit van het opgehoopte sediment zijn gewenst om het functioneren op lange termijn te beoordelen. De frequentie van die onderzoeken zal afhangen van de situatie; gemiddeld eenmaal per vijf jaar lijkt een goede meetfrequentie (RIONED, kennisbank 2023 en Boogaard 2019).

CONCEPT

## 3 Voorbehandeling van afstromend regenwater

### 3.1 Verwachte verontreiniging in relatie tot type terrein

Tabel 2 geeft een voorbeeld van gemeten concentraties van verontreinigende stoffen in regenwater dat afstroomt van verschillende typen oppervlakken. Metingen in Nederland geven een identiek beeld als in Duitsland (Boogaard et al 2014). Afhankelijk van het gebruik, de bouwmaterialen, de luchtkwaliteit en ander factoren is dit water zeer beperkt tot behoorlijk verontreinigd met verschillende stoffen. Wordt dit afstromende regenwater geïnfiltreerd naar het grondwater dan is voorbehandeling wenselijk of zelfs noodzakelijk.

De mate van voorbehandeling is dan afhankelijk te stellen van het toeleverend gebied. Te onderscheiden gebieden lopen uiteen van relatief schone dakoppervlakken, stoepen, wijkwegen en parkeerplaatsen bij woningen tot drukke verkeerswegen, marktterreinen, busstations en drukke parkeerpleinen bij winkelcentra (NWRW, 1982). In Duitsland wordt een nog veel gedetailleerdere indeling gemaakt van typen oppervlakken (DWA, 2020). Daarin worden grenzen tussen licht, matig en sterk verontreinigde regenwaterafvoer van wegen gelegd bij 300 en 15.000 voertuigen per dag.

**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**

Tabel 2: Representatieve gemiddelde concentratie te vinden van 22 verontreinigingsstoffen voor 12 verschillende oppervlakteafvoertypologieën (Kluge et al., 2015).

			Neerslag	Dak afvoeren						Afvoer van verkeersgebieden				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Parameter		Eenheid	Tuinen & grasland	Beton, cement, bitumen, glas zonder zinken goten	Beton, cement, bitumen, glas met zinken goten	Groene daken	Koperen daken	Aluminium daken	Zinken daken	Voetpad, fietspad & tuin	Parkeerplaats	Zijstraat	Hoofdweg	Rijksweg
<b>Fysisch-chemische parameters</b>														
1	EC	µS/cm	50	141	141	71	141	141	141	-	-	-	470	414
2	pH	-	5	5.7	5.7	7.5	5.7	5.7	5.7	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
<b>Somparameters</b>														
3	TSS	mg/l	12	43	43	-	43	43	43	7.4	150	150	163	153
4	BOD	mg/l	2	12	12	-	12	12	12	-	11	11	11	32
5	COD	mg/l	19	66	66	-	66	66	66	70	70	70	105	107
<b>Nutriënten</b>														
6	Ptot	mg/l	0.09	0.22	0.22	-	0.22	0.22	0.22	-	0.18	0.18	0.29	0.2
7	NH <sub>4</sub>	mg/l	0.8	3.39	3.39	1.3	3.39	3.39	3.39	-	0.1	0.1	0.9	0.5
8	NO <sub>3</sub>	mg/l	1.54	2.78	2.78	0.59	2.78	2.78	2.78	-	2.78	2.78	5	2.52
<b>Zware metalen</b>														
9	Cd	µg/l	0.7	0.8	0.8	0.1	0.8	0.8	1	0.8	1.2	1.2	1.9	3.7
10	Zn	µg/l	80	370	1851	468	370	370	6000	585	400	400	407	345
11	Cu	µg/l	11	153	153	58	2600	153	153	23	80	86	97	65
12	Pb	µg/l	9	69	69	6	69	69	69	107	137	137	170	224
<b>Ionen</b>														
13	Ni	µg/l	2	4	4	3	4	4	4	-	-	14	11	27
14	Cr	µg/l	3	4	4	3	4	4	4	-	-	10	11	13
15	Na	mg/l	2.14	-	-	-	-	-	-	-	18	-	108	194

16	Mg	mg/l	0.18	-	-	7	-	-	-	-	-	-	1	5
17	Ca	mg/l	7.5	10	10	78	10	10	10	-	-	-	31	37
18	K	mg/l	0.56	-	-	7	-	-	-	-	4	-	2	5
19	SO <sub>4</sub>	mg/l	5.46	46.71	46.71	-	46.71	46.71	46.71	-	-	-	15	39
20	Cl	mg/l	2.26	7.74	7.74	-	7.74	7.74	7.74	-	-	-	106	159
<b>Organische stof</b>														
21	PAK	µg/l	0.39	0.44	0.44	-	0.44	0.44	0.44	1	3.5	4.5	1.65	2.61
22	MKW	mg/l	0.38	0.7	0.7	-	0.7	0.7	0.7	0.16	0.16	0.16	4.17	4.76

## 3.2 Filterkeuze in relatie tot verontreiniging

Veel van de verontreinigende stoffen zijn in meerdere of mindere mate gebonden aan zwevende stoffen in water. In welke mate hangt af van veel factoren, zoals het type zwevend stof en de fysisch/chemische eigenschappen van het water. Bovendien leidt zwevend stof tot verstopping van filters, accumulatie en verstopping. Daarom is het van belang dat de zwevende stoffen in de voorbehandeling zoveel mogelijk worden afgevangen.

Jiang et al. (2015) noemt en vergeleek vijf methoden om zwevende stof en verontreinigingen af te vangen; bioretentie (regentuin), droge bezinkbassins ('dry ponds'), zandfilters, retentievijvers en wadi's en begroeide infiltratievelden. Alle methodes bleken effectief in de reductie van het gehalte zwevende stof, met verwijderingspercentages boven de 50 % en meestal 80 - 90 %.

Deze notitie beperkt zich tot de (de samenstelling van) filters van bodemmateriaal, zoals deze worden toegepast in wadi's, zandfilters, infiltratievelden, onder doorlatende verhardingen enz. Deze filters bestaan uit een laag bodemmateriaal waardoor het afstromende water verticaal infiltreert, waarna het water afstroomt richting de verzadigde ondergrond of richting een drainbuis. Vanuit die drainbuis wordt het gefilterde water dan verder geïnfiltreerd in infiltratieputten of -kratten.

Ook rond een infiltratievoorziening zoals een DIT-riool kan een filter worden aangebracht door het omhullende bodemmateriaal uit te voeren als bodemfilter (zoals beschreven in de RAW systematiek). Een andere mogelijkheid is om onder doorlatende verharding een speciale vlijlaag met zuiverende werking aan te brengen. Hierin worden zware metalen en PAK gebonden en door microben olie en PAK's afgebroken, terwijl de waterdoorlaatbaarheid goed is (Provincie Limburg et al., 2005).

Voor licht vervuilde afvoeren, tuinen, stoepen en dakafvoeren, zijn bezinkingssystemen bij lage debieten vaak voldoende om het afstromende water te zuiveren (by pass nodig voor intensieve buien zodat bezonken materiaal met gebonden verontreinigingen niet weer omwoelt en doorspoelt). De standaard voorgeschreven bezinkingssystemen zoals straatkolken blijken echter vaak onvoldoende efficiënt te zijn tegen zwaardere vervuilde afvoer, afvoer van verkeersgebieden. Intensiever gebruikte oppervlakken leveren echter meer verontreiniging in het afstromend regenwater. De eisen van de KRW kunnen dan alleen worden gerealiseerd met efficiëntere zuiveringssystemen op basis van filtratie (zoals retentiebodemfilters) in plaats van bezinking (MKULNV, 2016).

Daarnaast, hangt de keuze van het bodemfilter af van welke infiltratievoorziening gebruikt wordt. Infiltratieputten leiden het afstromende water direct naar het diepere grondwater; een goede kwaliteit van het instromende water moet dan gegarandeerd zijn, dus is voorbehandeling nodig. Als (ondiep) infiltratiekratten ingezet worden, wordt voorbehandeling met een bodemfilter geadviseerd om verontreiniging en instroom van sediment te voorkomen, ook omdat kratten niet gemakkelijk onderhouden kunnen worden (RIONED, 2007). Daarnaast is de keuze van welke voorziening geplaatst moet worden ook afhankelijk van de beschikbare ruimte (wel en geen ruimte voor bezinking).



## 4 Filter samenstelling

De samenstelling van een filter ter voorbehandeling van afstromend regenwater in een regenwateropvang voorziening kan variëren afhankelijk van het type voorziening en de specifieke toepassing. Over het algemeen omvat een filter een combinatie van materialen zoals zand, grind, geotextiel, organische stof en andere absorberende stoffen. Deze materialen worden gebruikt om verschillende verontreinigingen, waaronder zwevend stof (waar veel verontreinigingen aan geboden zijn), chemicaliën en micro-organismen, uit het regenwater te verwijderen voordat het in de bodem infiltreert. Sommige filters, zoals in wadi's, regentuinen en begroeide infiltratievoorzieningen, maken gebruik van biologische processen, zoals planten en micro-organismen om verontreinigingen te verwijderen en het water te zuiveren (fytoremediatie).

Een bodemfilter bestaat vaak uit een organische stof- en lutumhoudende laag waarin verontreinigingen zich binden. De samenstelling is vaak een compromis tussen het bindend vermogen van het bodemmateriaal en de waterdoorlaatbaarheid van de toplaag (RIONED, 2003). In de folder *Regenwater schoon naar beek en bodem* staan de volgende aanbevelingen met betrekking tot bodemfilters. In Tabel 3 worden de aanbevolen karakteristieken van de folder uit 2005 getoond.

Tabel 3: Aanbevolen parameters voor bodemfilters in *Regenwater schoon naar beek en bodem* folder (Provincie Limburg et al., 2005)

Parameter	Eenheid	Eisen folder 2005
Filter dikte	m	0,3 – 0,5
Lutumgehalte	%	3 – 5
Organische stofgehalte	%	2 – 4

Indien organische stof wordt toegevoegd, dient dit te gebeuren in de vorm van stabiele humus, omdat 'verse' organische stof (amorphe humusdelen) makkelijk uitspoelt en dus ook de hieraan gebonden verontreinigingen. In principe kan deze samenstelling ook worden gehanteerd voor een bodemfilter bij ondergrondse voorzieningen.

Richtlijnen uit de ons omringende landen leveren aanvullende voorwaarden voor de samenstelling van de filtergrond. Zo stelt DWA-A 138-1 (2020) als voorwaarden voor **begroeide voorzieningen** zoals filtergrond voor wadi's en dergelijke, zie Tabel 4. Voor hogere zuiveringsrendementen zijn lange verblijftijden gewenst vandaar dat minimale doorlatendheid laag ligt (in enkele gevallen te compenseren door grotere berging of aanvullende maatregelen als drainage) en er een maximale doorlatendheid aan de eisen is toegekend.

Tabel 4: Eisen voor *begroeide* voorzieningen zoals filtergrond voor wadi's (DWA, 2020)

Parameter	Eenheid	Eisen
Klei + siltfractie	%	< 20
Humusgehalte	%	< 10
pH waarde	-	6 – 8
Maximale doorlatendheid	m/s	$1 \cdot 10^{-3}$
Minimale doorlatendheid	m/s	$1 \cdot 10^{-6}$

Het Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz van Nordrhein-Westfalen (MKULNV) stelde in 2016 andere eisen voor bodemfilters voor verticale infiltratie. Zie Tabel 5. Zo wordt een calciumcarbonaatgehalte van meer dan 20 % verlangd om uitspoeling van zware metalen te voorkomen. Om de adsorptiecapaciteit voor fosfaat te vergroten wordt in aanvulling op deze basis eisen toevoeging van ten minste 1 gewicht % ijzerhydroxide aanbevolen, in de vorm van Ferrosorb, schone ijzerslakken of ijzerhoudende zand.

Tabel 5: Basiseisen voor filtersubstraten voor bodemfilters (MKULNV, 2016)

Eigenschap	Reden
<b>Gebruik korrelfractie zand</b> 3 < d60/d10 < 5	Hoge waterdoorlatendheid, gelijkmatige stroming, hoge aerodynamische stabiliteit
<b>Beperk het gehalte aan fijne korrels</b> Klei + silt (kleiner dan 63 µm) < 1%	Vermijding van door het substraat verspreide deeltjesontlading, hoge waterdoorlatendheid
<b>Beperk het aandeel grind</b> Grind (groter dan 2mm) < 5%	Fijne deeltjesfracties zorgen voor een hoog actief korreloppervlak en buffercapaciteit tegen belastingschommelingen
Carbonaatgehalte (CaCO <sub>3</sub> ) > 20 %	Buffering van de pH-daling als gevolg van nitrificatie, vermijden van verschuiving van zware metalen
Organische stof < 1%	Voorkomen van mineralisatie van organisch materiaal in de ondergrond, voorkomen van aggregaat vorming
Vrij van schadelijke stoffen	Vermijd vervuilende toevoer naar waterlichamen

Opties om verontreiniging verder te verminderen in bodemfilter is door toevoeging van additieven aan het filtermedium. Er zijn verschillende relatief goedkope media die een positief effect hebben op de verwijdering van zowel biologische als chemische verontreinigingen via filtratie en adsorptie. Deze omvatten minerale toevoegingen zoals kalkrijke media zoals CaCO<sub>3</sub>, zeolieten of metaaloxiden zoals ijzerzand. Zwarte koolstofmaterialen of organische materialen zoals houtsnippers, bietenpulp, (Jansen, 2011), mulch<sup>1</sup> of compost zijn ook effectief gebleken bij het verbeteren van de verwijdering van verontreinigingen in regenwater. Toevoeging van actieve kool verbetert zowel de sorptie van metalen als organische stoffen, terwijl Fe- en Al-oxiden geschikt zijn voor de verwijdering van veel anionische verontreinigingen, inclusief oxyanionen, pathogenen en colloïden (Grebel, 2013).

## 4.1 Buitenlandse ervaring

In Tabel 6 wordt er een vergelijking gemaakt met algemene internationale ontwerprichtlijnen voor filterelementen.

<sup>1</sup> Mulch is een verzamelnaam voor verschillende organische bodembedekkers zoals tuinafval, houtsnippers, grasmaaisel, etc.

Tabel 6: Algemene internationaal ontwerprichtlijnen voor filterelementen

Parameter	Eenheid	Nederland	Duitsland	UK	België	Frankrijk	
Organisatie / bron		RIONED, 2006	DWA, 2005 (update 2020)	CIRIA, 2015	VLARIO, 2005 (update 2018)	UNEP, 2020	OPUR, 2020
Filter dikte	m	0.3 – 0.5	>0.1 Carbonaat-houdend zand 0.25 - 4 mm	0.3	0.3 – 0.5	0.5	0.3
Lutumgehalte	%	< 1	--	--	--	--	< 10
Organische stofgehalte	%	3 - 5	< 10% humus begroeid < 1 % verticale filterlaag	--	--	5	5 – 6

CONCEPT

## 5 Eisen ten aanzien van de aanleg, beheer van de voorziening en de monitoring

### 5.1 Aanleg

Bij de aanleg van een bodempassage moet er rekening worden gehouden met lokale omstandigheden. Het ontwerp van de voorziening en filter moeten ook ontwerpfuncties bevatten om hun levensduur en prestatie te verbeteren en de onderhoudskosten te minimaliseren. Deze ontwerpfuncties zijn te zien in Tabel 7.

Tabel 7: Ontwerpfuncties die overwogen moeten worden bij het aanleggen van een filter (SWC, n.d.).

Ontwerpfuncties	Overweging
<b>Afvoergebied</b>	Bodemfilters zijn het meest geschikt voor kleine locaties (maximaal 5 hectare voor oppervlakte-zandfilters en maximaal 2 hectare voor omtrek- of ondergrondse filters).
<b>Helling</b>	Bodemfilters kunnen worden gebruikt op locaties met hellingen tot ongeveer 6 %. Het is moeilijk om zandfilters te gebruiken op vlakke terreinen of bij sterk hellende terreinen. Dan kan er gebruik worden gemaakt van cascades, zie Figuur 1.
<b>Bodem</b>	Bodemfilters kunnen worden gebruikt op bijna elke bodem, omdat ze afhankelijk zijn van een "gemaakte" bodem voor afvoerbehandeling.
<b>Grondwater</b>	Er moet tenminste 30 cm zijn tussen de bodem van het filter en de GHG. Dit voorkomt structurele schade aan het filter en mogelijke grondwaterverontreiniging.



Figuur 1: Wadi cascade bij hellende terreinen in Enkhuizen en Rhenen

(bron: <https://www.climatescan.nl/projects/148/detail> en <https://www.climatescan.nl/projects/2772/detail>)

In Bijlage A is een checklist opgenomen worden voor de bouwprocedure.

### 5.2 Onderhoud

Bodempassages en Infiltratieputten hebben onderhoud nodig. In regenwater en afstromend water van het oppervlak zit zwevende stof. Dit fijne materiaal bezinkt en slaat neer op de bodem van de put en in het omhullingsmateriaal. Het kan op termijn een afsluitende laag vormen waardoor het water niet meer kan infiltreren. Het is daarom noodzakelijk de bodem van de put regelmatig schoon te spuiten en zuigen om verstopping te voorkomen.

Hoe vaak onderhoud nodig is hangt volledig af van de situatie en het weer; na een zware bui kan onderhoud gewenst zijn omdat het systeem op zo'n moment extra wordt belast met

zwevende stof. Echter, is een regulier onderhoudsschema ook erg belangrijk. In Tabel 8 worden een aantal voorbeelden gegeven van onderhoudsschema's.

Tabel 8: Voorbeelden van verschillende onderhoudsschema's

	Vlario, België (2018)	UNEP, Frankrijk (2020)	RIONED, Nederland (2006)
<b>Reiniging van de rioolkolken: minimum</b>	2 x /jaar		-
<b>Reiniging en slibruiming van de wadi's</b>	2 x /jaar		-
<b>Maaien, verwijderen en afvoeren van het gras op oevers van de bodempassages/wadi's en grachten</b>	maandelijks in periode maart t/m oktober	3 – 6 x /jaar	2 – 26 x /jaar
<b>Nazicht efficiënte reiniging door de voorbehandelingstoestellen</b>	4 x /jaar		1 – 5 x /jaar
<b>Controle infiltratiewerking infiltratiebekken</b>	2 x /jaar		1 x /jaar
<b>Controle van staat/toestand signalisatieborden "infiltratievoorziening"</b>	4 x /jaar		-

### 5.3 Monitoring

Monitoring (én evaluatie van de uitkomsten) is van belang voor het beheer en onderhoud. Visuele inspectie van het functioneren bij / direct na slecht weer – onder andere om te kijken of de dynamische berging tijdig weer beschikbaar is - is eenvoudig uit te voeren. De bevindingen moeten worden bijgehouden in een logboek.

Een grondwatermeetnet in de buurt van infiltrerende voorzieningen is een vereiste. Door een meetbuis in of direct naast de voorziening te plaatsen kan een verstopping van het filter meestal snel gesignaleerd worden. Het functioneren van een bodempassage, wadi, regentuin of van doorlatende verharding kan worden getest door infiltrometer testen en of 'full scale' infiltratieproeven (Boogaard, 2022).

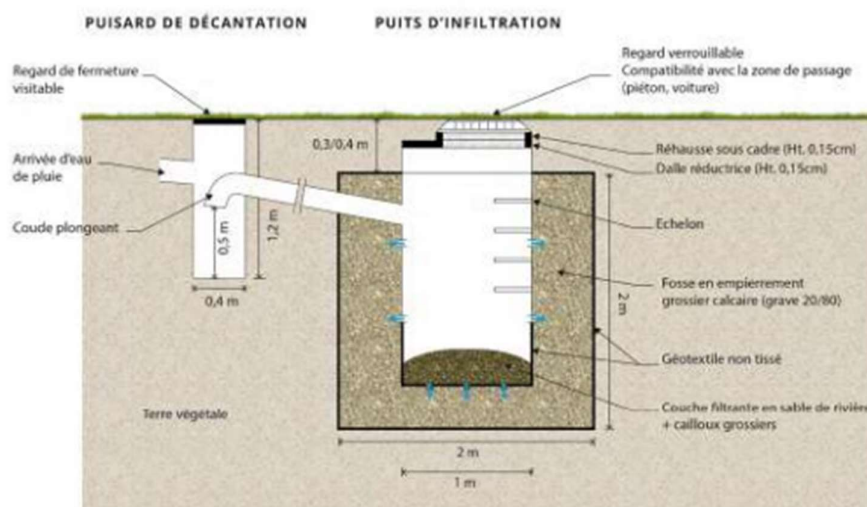
Aanbevolen wordt om af en toe ook de kwaliteit van het water en het opgehoopte sediment te beoordelen. De frequentie daarvan zal afhangen van de hoeveelheid vervuilende activiteiten in het gebied; eenmaal per vijf jaar lijkt gemiddeld een goede meetfrequentie. Het analysepakket moet uiteraard worden toegespitst op het type verontreiniging dat wordt verwacht en op de waterkwaliteitseisen die worden gesteld in het ontvangende water (Provincie Limburg, 2022).

## 6 Praktijkvoorbeelden en technische tekeningen

Bodemfilters kennen vele vormen. Uit de verschillende bronnen zijn hier ter inspiratie conceptuele afbeeldingen opgenomen van voorzieningen met een bodemfilterende werking. Daarnaast, is het mogelijk om veel Nederlandse en buitenlandse praktijkvoorbeelden van verschillende voorzieningen te vinden op [www.ClimateScan.nl](http://www.ClimateScan.nl), bijvoorbeeld:

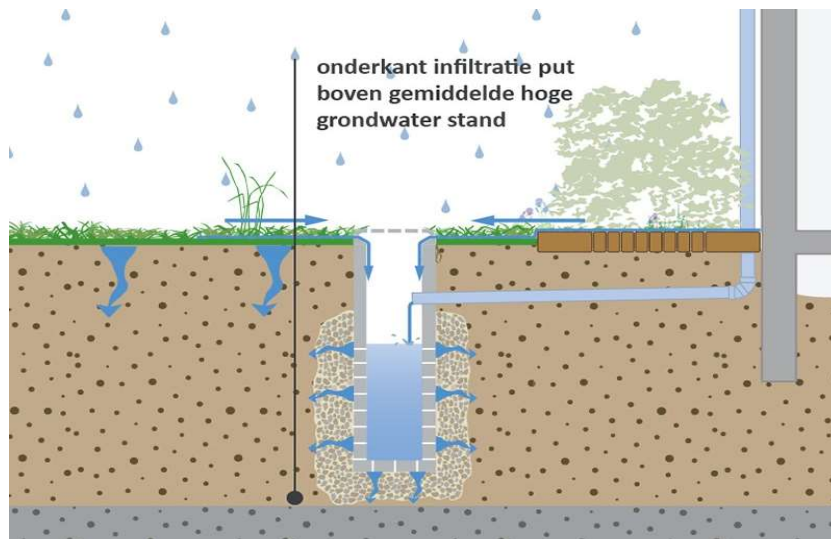
Soort	Link climatescan
Wadis (meer dan 1500 Nederlandse voorbeelden)	<a href="https://www.climatescan.nl/#filter-1-1">https://www.climatescan.nl/#filter-1-1</a>
Ondergrondse infiltratie (meer dan 400 voorbeelden)	<a href="https://www.climatescan.nl/#filter-1-5">https://www.climatescan.nl/#filter-1-5</a>
Regenwater kwaliteit monitoring en zuiveringsprojecten (meer dan 100 voorbeelden)	<a href="https://www.climatescan.nl/#filter-1-10">https://www.climatescan.nl/#filter-1-10</a>

### Infiltratieput



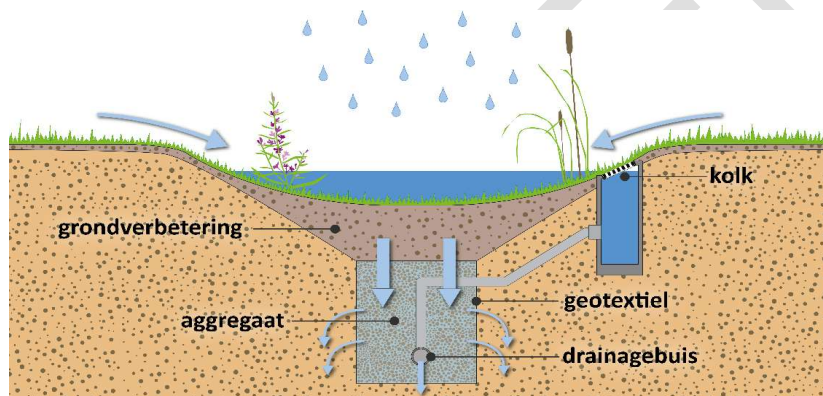
Figuur 2: Dwarsdoorsnede van een infiltratieput (UNEP, 2020)



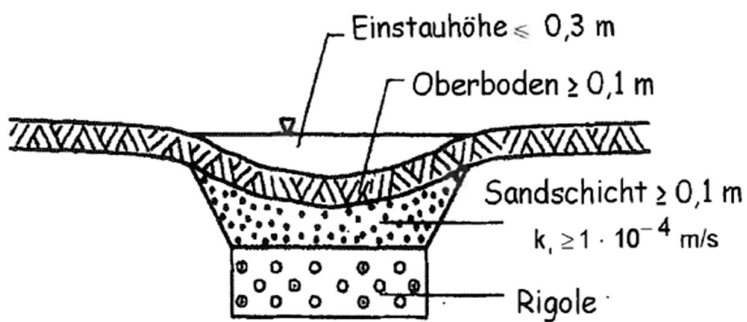


Figuur 3: Schematische weergave van een infiltratieput (Amsterdam Rainproof, 2023)

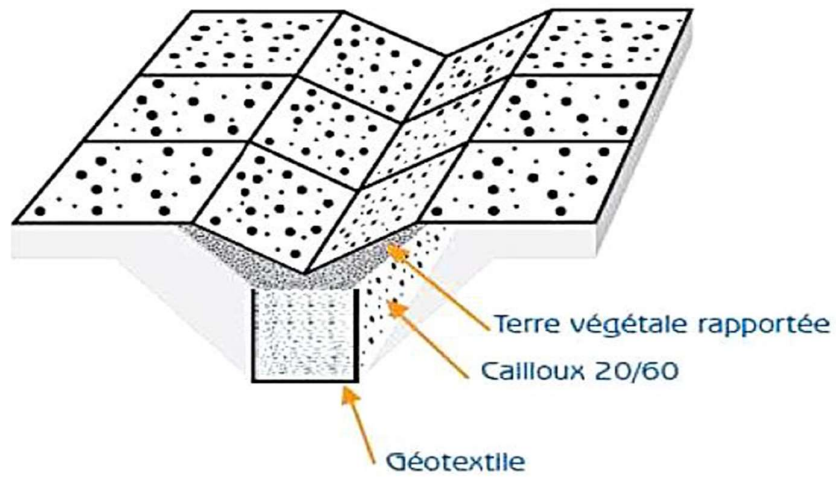
### Wadi



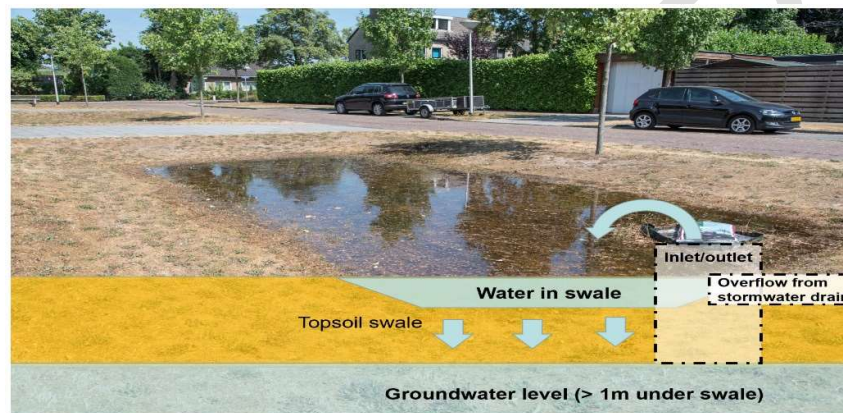
Figuur 4: Dwarsdoorsnede van een wadi (Blauw Grieb Vlaanderen, n.d.)



Figuur 5: Dwarsdoorsnede van een wadi met enkelen parameter eisen (DWA A 138, 2005)

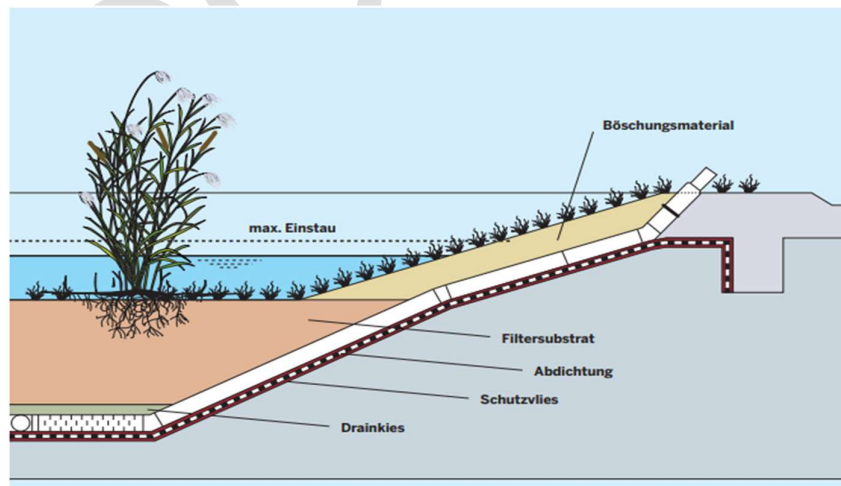


Figuur 6: Dwarsdoorsnede van een wadi (Versailles Grand Parc, 2022)



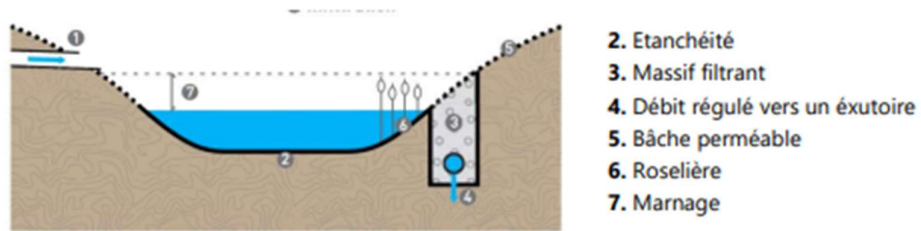
Figuur 7: Wadi constructie in de gemeente Dalfsen, Nederland (Boogaard, 2022)

### Retentievijvers



Figuur 8: Filterstructuur van een retentiebodemfilter (MKULNV, 2016)

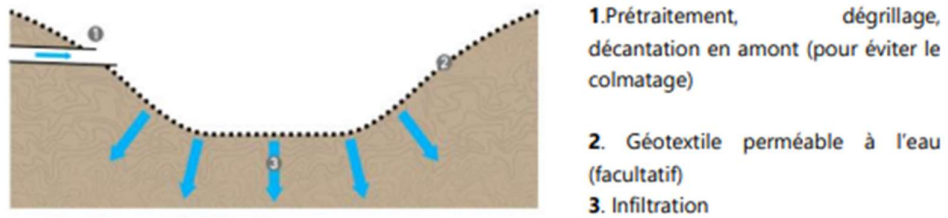




**Bassin de retenue d'eau**

*Figuur 9: Dwarsdoorsnede van een retentievijver (Versailles Grand Parc, 2022)*

**Droge bezinkbassin**



**Bassin sec d'infiltration**

*Figuur 10: Dwarsdoorsnede van een droge bezinkbassin (Versailles Grand Parc, 2022)*

## 7 Referenties

Amsterdam Rainproof (2023). Infiltratieputten. Opgehaald 4 april, 2023, van <https://www.rainproof.nl/maatregel/infiltratieputten>

Blauw Groen Vlaanderen (n.d.). Alle maatregelen: wadi's. Opgehaald 7 april, 2023, van <https://blauwgroenvlaanderen.be/professionals/maatregelen/wadis/> (Nederlandse versie met kolk = slokop: <https://nl.urbangreenbluegrids.com/measures/bioswales>)

Boogaard, F.C.; Van de Ven, F.; Langeveld, J.G.; Van de Giesen, N. Stormwater Quality Characteristics in (Dutch) Urban Areas and Performance of Settlement Basins. Challenges 2014, 5, 112-122. <https://doi.org/10.3390/challe5010112>

Boogaard F.C., Liefing E., Langeveld J., Palsma B. (2020). De kwaliteit van afstromend hemelwater in Nederland), H2O

Boogaard Floris, Bodemvervuiling in wadis onderzocht met nieuwe methode, H2O magazine May 2019

Boogaard, F.C. (2022). Spatial and Time Variable Long Term Infiltration Rates of Green Infrastructure under Extreme Climate Conditions, Drought and Highly Intensive Rainfall. Water, 14, 840. <https://doi.org/10.3390/w14060840>

CAS, Een wadi kun je overal aanleggen: <https://klimaatadaptatienederland.nl/actueel/actueel/interviews/wadi/>

DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Arbeitsblatt (2005) DWA-A 138, Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, ISBN 3-937758-66-6.

DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Arbeitsblatt (2020). DWA-A 138-1, Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser - Teil 1: Planung, Bau, Betrieb, ISBN 978-3-96862-018-3.

Gast, M.K.H. (1989). Uitkomsten van het NWRW-onderzoek naar effecten van lozingen vanuit rioolstelsels op de waterkwaliteit.

Grebel, J.E., Mohany, S.K., Torkelson, A.A., Boehm, A.B., Higgins, C.P., Maxwell, R.M., Nelson, K.L., Sedlak, D.L. (2013). Engineered infiltration systems for urban stormwater reclamation. Environmental Engineering Science. DOI: 10.1089/ees.2012.0312

Grotehusmann, D., Uhl, M., Lambert, B., Fuchs, S. (2016). Retentionsbodenfilter - Handbuch für Planung, Bau und Betrieb. MKULNV rapport.

Jansen, S., Stuurman, R. (2011). Puridrain veldpilot nitraatverwijdering Noordhoek. Deltares poster. Opgehaald op 7 april, 2023, van [https://www.glastuinbouwwaterproof.nl/content/3Onderzoek/Puridrain\\_Handout\\_Nitraat\\_Hout\\_snippers.pdf](https://www.glastuinbouwwaterproof.nl/content/3Onderzoek/Puridrain_Handout_Nitraat_Hout_snippers.pdf)

Jiang Y, Yuan Y, Piza H. (2015). A Review of Applicability and Effectiveness of Low Impact Development/Green Infrastructure Practices in Arid/Semi-Arid United States. *Environments*; 2(2):221-249. <https://doi.org/10.3390/environments2020221>

Kluge, B., Kaiser, M., Sommer, H., Markert, A., Pallasch, M., Weise, A. (2015). Leistungsfähigkeit und Zustand langjährig betriebener dezentraler Regenwasserversickerungsanlagen.

Provincie Limburg, Waterschap Peel en Maasvallei (WPM), Waterschap Roer en Overmaas (WRO), Rijkswaterstaat (2005). Regenwater schoon naar beek en bodem.

Provincie Limburg (2022). Spoorboekje Verantwoord Afkoppelen.

RIONED (2006). Wadi's: aanbevelingen voor ontwerp, aanleg en beheer, Stichting RIONED rapport. ISBN 90 73645 220

RIONED (2007). Dichtslibbing van infiltratievoorzieningen, een verkenning van de hydraulische levensduur van infiltratievoorzieningen, Stichting RIONED rapport. ISBN 97 890 73645 110.

RIONED (2023) Kennisbank, geraadpleegd 7/4/2023

Storm Water Center (SWC) (n.d.). Sand and organic filter. Opgehaald 4 april, 2023, van [https://www.stormwatercenter.net/Assorted%20Fact%20Sheets/Tool6\\_Stormwater\\_Practices/Filtering%20Practice/Sand%20and%20Organic%20Filter%20Strip.htm](https://www.stormwatercenter.net/Assorted%20Fact%20Sheets/Tool6_Stormwater_Practices/Filtering%20Practice/Sand%20and%20Organic%20Filter%20Strip.htm)

Tedoldi, D., Gromaire, M., Chebbo, G. (2020). Infiltrer les eaux pluviales c'est aussi maîtriser les flux polluants. État des connaissances et recommandations techniques pour la diffusion de solutions fondées sur la nature. OPUR rapport. ISBN 978-2-9574434-0-6

Union Nationale des Entreprises du Paysage (UNEP) (2020). Règles professionnelles. Travaux relatifs à la gestion alternative des eaux pluviales. (N° C.C.7-R0). ISBN 978-2-917465-23-3

Versailles Grand Parc (2022). Guide pour la gestion des eaux pluviales.

Vlario (2005). Katern afkoppelen, bufferen en infiltreren, Versie 2.

Vlario (2018). Overlegplatform, Richtlijnen bovengrondse infiltratievoorzieningen, RBI – Versie 1

Wentink, R, Boogaard, F.C., Bruins, G., Bode P. (2003). Wadi's doorgelicht: Tussenrapportage over het hydraulisch en milieu hygiënisch functioneren en de waardering van bewoners). Stichting RIONED rapport. ISBN: 90 73645 166

Wilson, S., Bray, R., Cooper, P. (2004). Sustainable Drainage Systems, Hydraulic, Structural and Water Quality Advice, C609B; London. CIRIA rapport. ISBN 0-86017-609-6.

# A Checklist voor bouwprocedure

In het DWA-regelwerkboek (DWA-A, 2020) is er een checklist gegeven voor de bouwprocedure. Deze is hieronder te vinden.

## Basispunten:

- Zijn er voldoende gedetailleerde plannen voor de infiltratiesystemen beschikbaar?
- Zijn alle vereiste voor- en nageschakelde aansluitsystemen voldoende nauwkeurig opgenomen?
- Is er een beschrijving van de maatregelen waaruit de functie en eventuele integratie in hogere systemen (riolerings- en verkeerssystemen) blijken?
- Is er een overzichtplan met bestaande en geplande leidingen van andere bedrijven in het projectgebied beschikbaar?
- Is er een geotechnisch rapport met voldoende bodemevaluaties voor de infiltratie-eigenschappen en de grondwaterstand voor het project beschikbaar?
- Bevat het geotechnisch rapport de volgende informatie:
  - Aantal en verdeling van de bemonsteringslocaties,
  - Informatie over de bodembelasting en de mogelijkheid tot hergebruik van de grond,
  - Informatie over de infiltratie-eigenschappen van de bodemlagen, inclusief de methode van bodemonderzoek en de bepaling van de kf-waarden.

## Bouwplaatsmanagement:

- Hoe is de bouwplaatsafvoer geregeld?
- Waar bevindt zich een mogelijke waterafvoer (riolerings- of oppervlaktewater)?
- Zijn lozingen tijdens de bouwperiode toegestaan?
- Is het projectgebied opgenomen in het plan voor de bouwplaatsinrichting?
- Hoe zijn de toegang en aanlevering gepland?
- Waar kunnen opslagplaatsen voor uitgravingen en materialen worden geplaatst?
- Wordt het projectgebied beïnvloed door ophogingen/afgravingen/terreinmodelleringen?
- Zijn er potentiële conflictpunten met andere bedrijven?
- Is het nodig om leidingen te verleggen?
- Welke permanente of fasegewijze beschermingsmaatregelen zijn tijdens de bouwfase nodig voor het infiltratiesysteem?
- Welke bouwbedrijven en gespecialiseerde planners moeten worden geïnformeerd?
- Zijn er wettelijke vereisten?

## Geotechnische begeleiding:

- Is er geotechnische begeleiding nodig voor aanvullende bodemevaluaties?
- Is de materiaal/bodemmix geschikt voor de biozone?
- Wat is de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG)?

## Constructieve bouwuitvoering:

- Hoe zijn de processen van de vereiste grondbewegingen, uitgravingen en installatiewerkzaamheden tijd- en plaatsgebonden gepland?
- Zijn infiltratiegerelateerde gebieden voldoende beschermd?
- Zijn kritieke punten beschermd tegen erosie (putten, waterstromen)?
- Worden de installatie-instructies van de fabrikant gevolgd bij het gebruik van systeemelementen?

- Zijn de onderhouds-/service-/bedrijfspunten voor de vereiste maatregelen en werkzaamheden bereikbaar?

Documentatie

- Hoe is de documentatie van de gebouwde installatie georganiseerd?
- Wie begeleidt en bevestigt de juiste en vakbekwame constructie en uitvoering van de bouw?

CONCEPT

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)