Coördinatiecommissie
Integraal Waterbeleid

CODE VAN GOEDE PRAKTIJK VOOR HET ONTWERP, DE AANLEG EN HET ONDERHOUD VAN RIOLERINGSSYTEMEN

Deel 3 : Bronmaatregelen

18/12/2024

© Frederik Beyens, Aquafin

Inhoud

3.1 Duurzaam omgaan met hemelwater 3
3.2 Overgangsbepaling 4
3.3 Wetgevend kader 5
3.4 Hemelwater- en droogteplannen 6
3.5 Toepassingsgebied 7
3.5.1 Vallen buiten het toepassingsgebied van de Code 7
3.5.2 Vallen binnen het toepassingsgebied van de Code 7
3.6 Bronmaatregelen 10
3.6.1 Afstroom vermijden 11
3.6.2 Hemelwatergebruik 13
3.6.3 Infiltratievoorzieningen 13
3.6.4 Bufferen en vertraagd afvoeren 20
3.6.5 Overzicht – wanneer infiltreren of bufferen en vertraagd afvoeren 21
3.7 Dimensionering bronmaatregelen 22
3.7.1 In rekening te brengen oppervlakten 22
3.7.2 Infiltratievoorzieningen 23
3.7.3 Buffervoorzieningen 28
3.7.4 Evaluatie en optimalisatie van het ontwerp 29
3.8 Praktische aanpak van het ontwerpproces 32
3.8.1 Algemeen 32
3.8.1.1 Verzamelen basisinformatie over het ontvangend afwateringssysteem 32
3.9 Aandachtspunten bij ontwerp, aanleg en onderhoud 35
3.10 Bepaling van de bodemgesteldheid 37
3.10.1 Bepaling van het grondwaterpeil 37
3.10.2 Bepalen van de infiltratiecapaciteit 44
3.10.3 Keuze van infiltratieproef en aandachtspunten 48
3.11 Lijst met afbeeldingen 50
3.12 Aanverwante informatie 50

3. Bronmaatregelen

3.1 Duurzaam omgaan met hemelwater

Onze hedendaagse maatschappij wordt geconfronteerd met een aantal uitdagingen die ons dwingen om op een doordachte en duurzame manier met water om te gaan.

In het verleden werden we in Vlaanderen al geconfronteerd met wateroverlast. De voorbije jaren zien we klimaatverandering ook vaker onder de vorm van droogteproblematiek. Ten gevolge van de klimaatverandering verwachten we in de toekomst nog meer extreme omstandigheden. Niet enkel zullen langere periodes van droogte voorkomen, maar ook intensere neerslagevents. De effecten, die we recent aan den lijve ondervonden, zullen zich in de toekomst frequenter en in meer extreme mate voordoen en zijn in grote mate afhankelijk waarin we de temperatuurtoename kunnen beperken.

Daarnaast staan onze watervoorraden onder druk ten gevolge van verdere verstedelijking, de bevolkings- en welvaartstoename. Hemelwater kan op korte termijn ingezet worden als volwaardige en duurzame alternatieve waterbron voor tal van andere toepassingen. Daarom verplicht de Gewestelijke Stedenbouwkundige Verordening dat hemelwater opgevangen en gebruikt wordt. Er wordt ook onderzoek gedaan naar de inzetbaarheid van gezuiverd afvalwater als alternatieve waterbron.

Een belangrijke strategie is het inzetten op de natuurlijke sponswerking van de bodem. Dankzij deze sponswerking wordt een tijdelijk neerslagoverschot omgezet in een vochtvoorraad in de bodem, waardoor een periode met neerslagtekort geheel of gedeeltelijk kan worden overbrugd. In neerslagperiodes verloopt de afvoer van water naar het afwaartse watersysteem via de bodem veel langzamer dan bij oppervlakkige afstroming waardoor de piekbelasting op het afwaartse systeem afneemt en daarmee ook minder wateroverlast ontstaat. Via de sponswerking zorgen we dus zowel voor een aanvulling van het grondwater, als voor een sterk vertraagde afvoer naar het oppervlaktewater.

Elke wijziging in landgebruik zorgt voor een verandering in het afstromingsgedrag. Het is echter niet zo dat in de onaangeroerde toestand het hemelwater per definitie ter plaatse blijft. In functie van de terreinkenmerken (helling, bodem, begroeiing …), de actuele bodemvochttoestand en de neerslagkenmerken (intensiteit, duur, frequentie) zal hemelwater in meer of mindere mate ook tot afstroming komen. Het is dus een utopie om te verwachten dat er nooit hemelwater van (on)verharde oppervlakten afstroomt.

De scheiding van afvalwater en hemelwater is een absolute voorwaarde om een duurzaam (hemel)watersysteem uit te kunnen bouwen. Door hemel- en afvalwaterstromen te scheiden wordt de mogelijkheid gecreëerd om hemelwater ter plaatse te houden en te gebruiken. Dit geldt voor het hemelwater dat afkomstig is van zowel het particulier domein (Vlarem art. 6.2.2.1.2. § 3) als van het openbaar domein, maar betekent niet noodzakelijk dat ook een afvoersysteem voor het hemelwater dient te worden aangelegd.

Het principe van scheiden van afval- en hemelwater is vastgelegd in Vlarem II (art. 2.3.6.4) dat stelt dat bij aanleg en heraanleg van openbare riolering een gescheiden stelsel dient te worden aangelegd tenzij anders bepaald in het uitvoeringsplan (GUP)[1]. Dergelijke uitzondering wordt enkel toegestaan als het projectgebied al voorzien is van riolering én is opgenomen op de GUP-kaart van de betrokken gemeente.

[1] De gebieden waarop dit van toepassing is zijn te raadplegen op het geoloket zonering- en uitvoeringsplannen van VMM via de layer 'GUP: uitzondering optimale afkoppeling' (Geoloket zonering- en uitvoeringsplannen — Vlaamse Milieumaatschappij (vmm.be))

Deze deeltekst behandelt een correct ontwerp van een systeem met één of meerdere bronmaatregelen[2] die samen beogen om de impact van geplande ingrepen zoals wegenis- of rioleringswerken op het watersysteem te beperken. Hierbij kunnen optimale oplossingen groeien uit een samenwerking over de perceelsgrenzen heen of tussen publieke en private actoren. Op die manier kan de impact op de omgeving ook in functie van de (tijdelijke) lokale behoeften geoptimaliseerd worden, waarbij het effect van collectieve bronmaatregelen niet enkel bepaald wordt door ontwerpkeuzes, maar ook door de bedrijfsvoering.

3.2 Overgangsbepaling

De richtlijnen in dit hoofdstuk zijn voor projecten op het openbaar domein die een omgevingsvergunning behoeven van toepassing zodra de omgevingsvergunning aangevraagd wordt vanaf 7 januari 2025, met uitzondering van het openbaar domein dat deel uitmaakt van een aanvraag tot omgevingsvergunning voor het verkavelen van gronden. Voor deze werken is de hemelwaterverordening (en de Code) reeds van toepassing voor vergunningsaanvragen vanaf 2 oktober 2023.

Het is de verantwoordelijkheid van de opdrachtgever en ontwerper om met deze timing rekening te houden bij de uitwerking van het ontwerp en het vergunningsdossier.

Voor dossiers die vrijgesteld zijn van een omgevingsvergunning zijn deze richtlijnen van toepassing voor projecten die aanbesteed worden vanaf 7 januari 2025.

[2] Bronmaatregelen zijn maatregelen m.b.t. regenwaterbeheer, waardoor problemen zoals wateroverlast en watertekort aan de bron worden aangepakt. Voorbeelden zijn hergebruik, infiltratie en buffering met vertraagde afvoer.

3.3 Wetgevend kader

Het Decreet Ruimtelijke Ordening laat toe dat vergunningsverleners lasten koppelen aan een vergunning die de impact van werkzaamheden op haar omgeving remedieert. Overeenkomstig Art. 2.3.1 van de Vlaamse Codex Ruimtelijke Ordening, kan de Vlaamse Regering een verordening vaststellen met nodige stedenbouwkundige voorschriften om te zorgen voor onder meer het waarborgen van een adequate waterhuishouding. Ook provinciebesturen en gemeentebesturen kunnen aanvullende voorwaarden opleggen via lokale wetgeving.

Dit document vertrekt, net als de Gewestelijke Stedenbouwkundige Verordening Hemelwater (GSVH), vanuit het idee dat elke druppel telt. Ze zet in op vermijden van afstroom door ontharden en koppelt het beleid rond andere bronmaatregelen aan verhardingen en constructies die de natuurlijke afwatering verstoren of aan de aanleg van afwateringen voor verhardingen en constructies die voorheen wel ter plaatse infiltreerden. De Gewestelijke Stedenbouwkundige Verordening ambieert meer dan het standstill principe, ze ambieert ook herstelmaatregelen bij heraanleg, renovatie of uitbreiding van bestaande constructies en bij heraanleg of uitbreiding van verhardingen (inclusief een substantieel deel van de bestaande constructie of verharding).

Rekening houdend met de reeds waargenomen wijziging van het klimaat, werden in 2023 aanpassingen gedaan aan modaliteiten omtrent gebruik van hemelwater, de noodzakelijke volumes (infiltratie- en buffervolume), de minimale infiltratieoppervlakte en het nagestreefd doorvoerdebiet als om technische redenen niet kan geïnfiltreerd worden.

De GSVH vertaalt deze toegenomen ambitie van de Vlaamse Regering naar een juridisch kader en verplicht, tenzij het hemelwater ter plaatse in een onverharde zone infiltreert:

- bij nieuwbouw, herbouw, renovatie of uitbreiding van gebouwen
    - het plaatsen van een hemelwaterput
    - het opvangen en maximaal gebruiken van hemelwater voor toepassingen waar geen drinkwaterkwaliteit voor nodig is
    - het plaatsen van een (bij voorkeur bovengrondse) infiltratievoorziening met een minimaal infiltratievolume en een minimaal infiltratieoppervlak
    - het plaatsen van een buffervoorziening met een vertraagde afvoer met een minimaal buffervolume en een maximaal doorvoerdebiet, vanaf een kritische toevoerende oppervlakte, als om technische redenen geen infiltratievoorziening kan aangelegd worden

- bij de aanleg, heraanleg of uitbreiding van bestaande verharde oppervlaktes[3]
    - het plaatsen van een (bij voorkeur bovengrondse) infiltratievoorziening met een minimaal infiltratievolume en een minimaal infiltratieoppervlak
    - het plaatsen van een buffervoorziening met een vertraagde afvoer met een minimaal buffervolume en een maximaal doorvoerdebiet, vanaf een kritische toevoerende oppervlakte, als om technische redenen geen infiltratievoorziening kan aangelegd worden

Zij voorziet ook de mogelijkheid om de verplichtingen met betrekking tot hemelwater collectief of individueel op te nemen.

Deze Code reikt handvaten aan om de ambities die in de GSVH werden vastgelegd, technisch zo goed als mogelijk in te vullen.

[3] Zie Verhardingen (terras, oprit, overwelving gracht, kunstgras, kiezels...) | Omgevingsloket (omgevingsloket-vlaanderen.be)

Niettegenstaande de GSVH niet van toepassing is voor werken op openbaar domein die vrijgesteld zijn van vergunning wil de Vlaamse Regering dat ook deze werken voldoen aan de ambitie die aan de basis ligt van de GSVH. Daarom stelt zij deze Code van Goede Praktijk, meer bepaald dit hoofdstuk 3, van toepassing op deze werken. Uiteraard blijven ook de overige hoofdstukken van toepassing bij de aanleg en het beheer van afval- en hemelwatersystemen.

3.4 Hemelwater- en droogteplannen

De hemelwater- en droogteplannen[4] (HWDP) zijn een doorvertaling van hoger beschreven juridisch kader rekening houdend met de context en concrete situatie op het terrein. Deze hemelwater- en droogteplannen worden opgesteld in nauw overleg met alle betrokken actoren zoals vertegenwoordigers van de particuliere eigenaars, landbouw, wegbeheerders, rioolbeheerders, waterloopbeheerders ….

Deze HWDP beschrijven de uiteindelijke opbouw van het hemelwater- en het oppervlaktewatersysteem en dragen hierdoor bij tot een visie en duurzame investeringen in hemelwater. Het is dan ook ten zeerste aangewezen om dit voorafgaand aan investeringen op te maken.

We verwijzen in dit kader ook naar de blauwdruk[5] voor de opmaak van hemelwater- en droogteplannen.

[4] Om vanaf 2025 nog in aanmerking te komen voor water gerelateerde subsidies moet een gemeente over een goedgekeurd hemelwater- en droogteplan beschikken.

[5] https://www.integraalwaterbeleid.be/nl/beleidsinstrumenten/hemelwater-en-droogteplannen/blauwdruk-hemelwater-en-droogteplan/view

3.5 Toepassingsgebied

Met onderstaande tekst willen we verduidelijken op welke werken de hoger beschreven ambities van toepassing zijn (ongeacht de vergunningsplicht).

3.5.1 Vallen buiten het toepassingsgebied van de Code

Onderstaande werkzaamheden vallen m.b.t. het hemelwaterbeheer buiten de ambities van de Vlaamse Regering.

Dit zijn over het algemeen werken, beperkt in ruimte, waarbij bestaande wegverhardingen lokaal opgebroken en hersteld worden en waarbij er – zonder de scope van het oorspronkelijke project uit te breiden – geen opportuniteiten zijn om het hemelwater op een duurzamere wijze te verwerken.

1. Het herstellen en/of onderhouden van de wegopbouw in een lokale zone: vervangen betonvakken (al dan niet door andere materialen), verzakkingen herstellen, de heraanleg van rijbanen in het kader van structureel onderhoud, waarbij - indien funderingslagen aanwezig zijn - voorzien wordt deze niet geheel te vervangen[6] (al dan niet door dezelfde materialen), verplaatsen kantstroken n.a.v. opbraak bestaande verhardingen, het realiseren of overkoppelen van aansluitingen op riolering of nutsleidingen, ….
2. De aanleg van verhoogde kruispunten, verkeersdrempels, bushaltes, hoppinpunten, dringende ingrepen i.h.k.v. verkeersveiligheid en andere lokale verkeerstechnische maatregelen
3. Het opbreken en herstellen van een sleuf met minimale breedte (zie SB 250)
    - voor het aanleggen, herstellen of wijzigen van één of meerdere nutsvoorzieningen, andere dan rioleringen (transport of distributie van drinkwater, elektriciteit, aardgas, warmte- en koudenetleidingen, …).
    - voor het herstellen of lokaal vervangen van afval- of hemelwaterleidingen
4. Heraanleggen van fiets- of voetpaden
5. …

Dergelijke werkzaamheden kunnen voor wegbeheerders en beheerders van afwaartse oppervlakte- of regenwaterstelsels wel een opportuniteit vormen om in synergie eigen doelstellingen (vb. gemeentelijke klimaatplannen) te realiseren. Van de opdrachtgevers en ontwerpers van bovenstaande werken verwachten we een alertheid m.b.t. de kansen die hun werken kunnen bieden wat betreft o.a. het beperken van afstroom, dit kan ook voor hen een besparing vormen. Werken moeten daarom tijdig kenbaar gemaakt worden aan de relevante stakeholders.

De beschikbare investeringsmiddelen zijn beperkt en moeten efficiënt ingezet worden met het oog op het maximaal realiseren van alle doelstellingen. Daarom dient elke actor op het openbaar domein weloverwogen keuzes te maken om het ter plaatse houden van regenwater maximaal te faciliteren en mee te integreren in de projecten.

3.5.2 Vallen binnen het toepassingsgebied van de Code

Voor onderstaande werken wordt gestreefd naar de basisambities zoals opgenomen in de GSVH. Dit betekent dat nagegaan wordt in hoeverre gebruik van hemelwater zinvol is en dat voor de in rekening te brengen oppervlaktes (zie 3.7.1) één of meerdere bronmaatregelen worden voorzien. Deze worden ontworpen volgens de dimensioneringsprincipes beschreven in 3.7. De impact van deze

[6] Gedeeltelijke vernieuwing of herstellingswerken aan de funderingslagen, zonder dat deze geheel wordt vervangen, zijn hierbij dus wel mogelijk (m.a.w. zolang er een funderingslaag aanwezig blijft en zolang de verharding dus niet volledig opgebroken wordt tot op de oorspronkelijke blote grond.)

bronmaatregelen wordt tijdens ontwerp in overleg met de beheerder van het ontvangend hemel- of oppervlaktewaterstelsel geoptimaliseerd overeenkomstig 3.7.4.

1. Als geen regen- of oppervlaktewaterafvoer wordt (her)aangelegd
    a. De aanleg van nieuwe verhardingen.
    b. De heraanleg van rijbanen in het kader van structureel onderhoud, waarbij funderingslagen aanwezig zijn en voorzien wordt deze geheel te vervangen (al dan niet door andere materialen)
    c. De planmatige en integrale heraanleg ('van gevel tot gevel') van rijbanen, voet- en/of fietspaden of andere verhardingen op openbaar domein door de weg- of domeinbeheerder
    d. De planmatige aanleg van een afvalwaterleiding

    Voor de gevallen 1b, 1c en 1d streven we naar een ontwerp volgens de strikte ontwerpregels van de GSVH, maar moeten we er ons van bewust zijn dat dit niet overal mogelijk zal zijn. Wel wordt verwacht dat tijdens het projectontwerp wordt bekeken wat maximaal kan gerealiseerd worden zonder de bestaande, niet in de werken betrokken, infrastructuur op te breken.

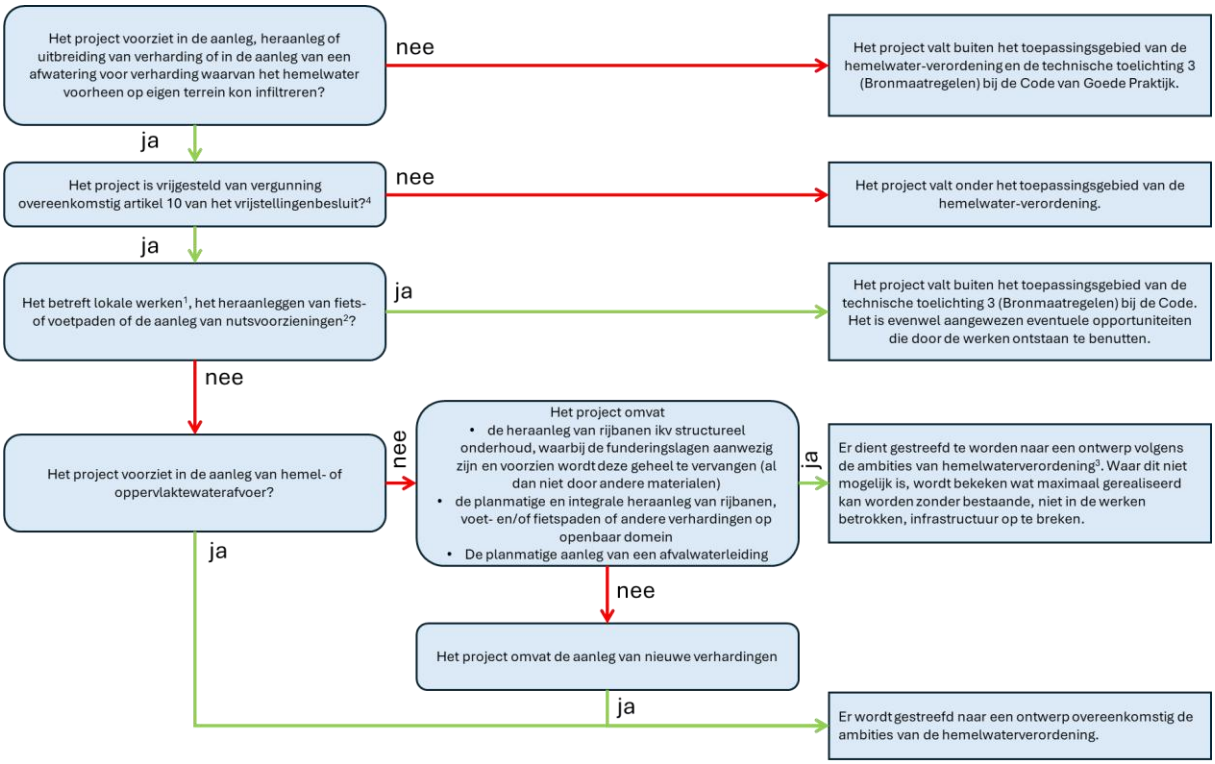
2. De aanleg van een regen- of oppervlaktewaterafvoer (excl. aansluitingen) waarop (een deel van) de in rekening te brengen afwaterende oppervlakte binnen de projectzone is aangesloten.

Voor niet-vergunningsplichtige handelingen kan afgeweken worden van de ontwerpregels, wanneer ze kaderen in een goedgekeurd Hemelwater- en droogteplan waarin de impact van de betreffende handelingen werd onderzocht. Het College van Burgemeester en Schepenen kan dit bevestigen. Er kan ook afgeweken worden van de ontwerpregels als de waterloopbeheerder bevestigt dat er op de waterloop geen noemenswaardige wateroverlastproblemen zijn, of de bestaande verharding geen betekenisvolle oorzaak is van wateroverlast of droogteproblematiek.

Wanneer de strikte toepassing van de ontwerpregels in deze Code ertoe zou leiden dat een van vergunning vrijgesteld project toch vergunningsplichtig wordt, kunnen de bronmaatregelen voor bestaande verhardingen, na grondige evaluatie van de verschillende opties gefaseerd uitgebouwd worden. Dit stelt opdrachtgevers dus niet vrij van het voorzien van bronmaatregelen binnen de projectzone. We raden aan om hierover steeds in overleg te gaan met de betrokken waterloopbeheerder, om discussies tijdens de uitvoering te vermijden. Desgevallend kunnen tussen opdrachtgever en waterloopbeheerder afspraken gemaakt worden die garanties bieden rond de gefaseerde uitvoering van de bronmaatregelen. Dit kan ook in de vorm van afspraken binnen een hemelwater- en droogteplan.

De uitbouw van bronmaatregelen binnen het openbaar domein moet ook rekening houden met de specifieke technische vereisten van de wegbeheerder of beheerder van het openbaar domein en afgestemd zijn op de lokale situatie en de functie die aan het openbaar domein wordt toebedeeld. De mogelijkheden binnen de projectzone, moeten evenwel maximaal benut worden.

In Figuur 1 vindt u een stroomschema dat het toepassingsgebied verduidelijkt.



[1]: Onder 'lokale werken' verstaan we

1. Het herstellen en/of onderhouden van de wegopbouw in een lokale zone: vervangen betonvakken (al dan niet door andere materialen), verzakkingen herstellen, de heraanleg van rijbanen in het kader van structureel onderhoud, waarbij - indien funderingslagen aanwezig zijn - voorzien wordt deze **niet geheel** te vervangen* (al dan niet door dezelfde materialen), verplaatsen kantstroken n.a.v. opbraak bestaande verhardingen, het realiseren of overkoppelen van aansluitingen op riolering of nutsleidingen, ...
2. De aanleg van verhoogde kruispunten, verkeersdrempels, bushaltes, hoppingpunten, dringende ingrepen i.h.k.v. verkeersveiligheid en andere lokale verkeerstechnische maatregelen

*: Gedeeltelijke vernieuwing of herstellingswerken aan de funderingslagen, zonder dat deze geheel wordt vervangen, zijn hierbij dus wel mogelijk (m.a.w. zolang er een funderingslaag aanwezig blijft en zolang de verharding dus niet volledig opgebroken wordt tot op de oorspronkelijke blote grond.)

[2]: Bij opbreken en heraanleggen van een sleuf met minimale breedte conform SB250 en met uitzondering van de planmatige aanleg van afval- en/of hemelwaterleidingen. Herstellen of lokaal vervangen van afval- of hemelwaterleidingen valt hier wel onder.

[3]: Voor niet-vergunningsplichtige handelingen kan afgeweken worden van de ontwerpregels, wanneer ze kaderen in een goedgekeurd Hemelwater- en droogteplan waarin de impact van de betreffende handelingen werd onderzocht. Het College van Burgemeester en Schepenen kan dit bevestigen. Er kan ook afgeweken worden van de ontwerpregels als de waterloopbeheerder bevestigt dat er op de waterloop geen noemenswaardige wateroverlastproblemen zijn, of de bestaande verharding geen betekenisvolle oorzaak is van wateroverlast of droogteproblematiek.

[4]: Wanneer de strikte toepassing van de ontwerpregels in deze technische toelichting ertoe zou leiden dat een project dat van oorsprong vrijgesteld is van vergunning, alsnog vergunningsplichtig zou worden, kunnen de bronmaatregelen voor bestaande verhardingen, na grondige evaluatie van de verschillende opties gefaseerd uitgebouwd worden. Dit stelt opdrachtgevers dus niet vrij van het voorzien van bronmaatregelen binnen de projectzone.

Figuur 1: Stroomschema toepassingsgebied hemelwaterverordening en technische toelichting 'bronmaatregelen'

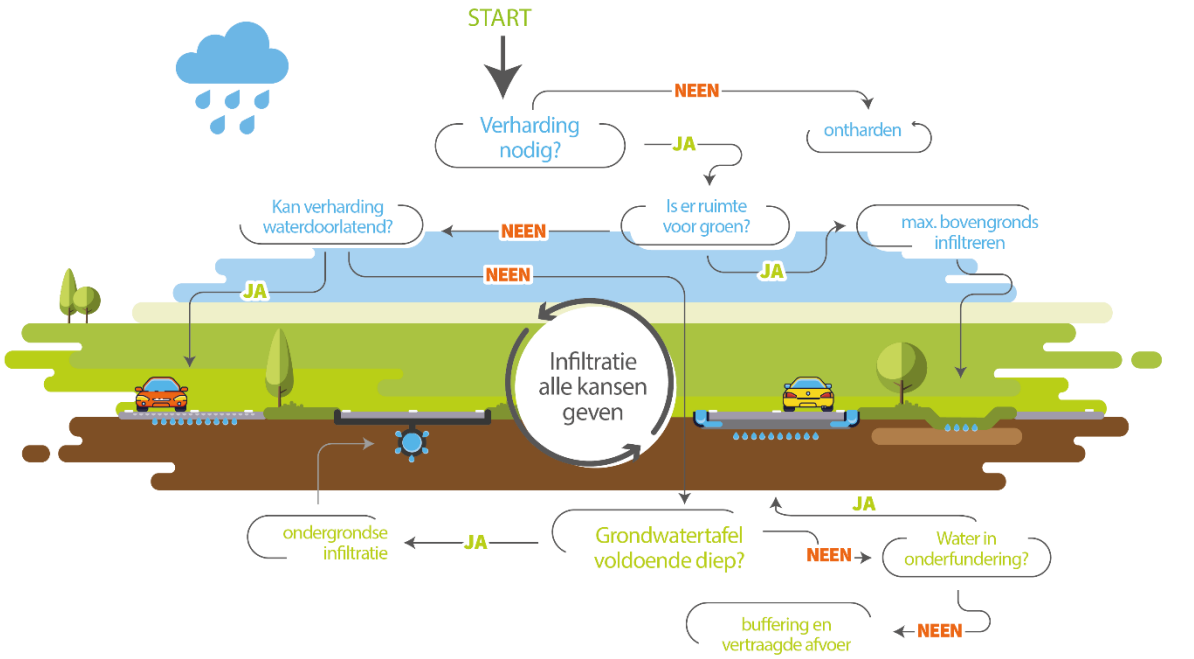
3.6 Bronmaatregelen

Bronmaatregelen zijn bedoeld om de impact van een project op de waterhuishouding te remediëren of waterhuishouding te verbeteren. Deze maatregelen zijn gericht op het beperken of vertragen van afstroom van het hemelwater naar het afwaarts (oppervlakte)watersysteem.

Ze worden ingezet volgens de principes van de Ladder van Lansink (zie Figuur 2). Hierbij gaan we in de eerste plaats uit van het vermijden van afstroming van hemelwater en zetten we vervolgens in op gebruik van het hemelwater. Wanneer dit niet voldoende is, moet er ingezet worden op het aanvullen van de watervoorraad in de bodem via infiltratie, waarbij bovengrondse infiltratie de voorkeur heeft op ondergrondse. Pas in laatste instantie en enkel voor het hemelwater dat via de voorgaande methoden niet kan worden verwerkt, voorzien we een (vertraagde) afvoer van het hemelwater. Hiervoor zal ook de nodige buffering moeten worden uitgebouwd.

Figuur 2: De ladder van Lansink toegepast op hemelwater

Het stappenplan in Figuur 3 vertaalt de Ladder van Lansink voor het openbaar domein met als opzet alle kansen te geven aan infiltratie van hemelwater. In de volgende paragrafen gaan we dieper in op de verschillende mogelijke bronmaatregelen. De bronmaatregelen die als oplossing gekozen worden, moeten afgestemd zijn op de lokale situatie. Zo dient onder meer rekening gehouden te worden met specifieke eisen van de weg- of domeinbeheerder.



Figuur 3: Stappenplan omgaan met hemelwater op openbaar domein (bron: Aquafin)

3.6.1 Afstroom vermijden

De beste bronmaatregel is het vermijden van afstroom. Bij de aanleg of heraanleg van het openbaar domein moet er dan ook een grondige afweging gebeuren of alle verharding wel noodzakelijk is. Het beperken van verharding of het ontharden van bestaande verharding is dan ook de allereerste ontwerpopgave. Zeker voor wat betreft de (her)aanleg van pleinen, voetpaden en parkeerstroken is dit aanbevolen. Maar ook het versmallen van de rijweg behoort hier tot de mogelijkheden.

Merk op dat bij extreme neerslag ook van onverharde zones afstroming kan ontstaan. Een goed ontwerp waakt erover dat deze afstroom gebeurt zonder overlast te veroorzaken (zie ook 3.7.4).

3.6.1.1 Ontharden

Ontharden – of niet verharden – is de eenvoudigste en vaak de goedkoopste oplossing om afvoer van hemelwater te vermijden. Hierbij komt het erop neer goed af te wegen welke verhardingen noodzakelijk zijn en welke niet. Elke verharding belemmert immers de sponswerking van de bodem. Daarnaast wordt hiermee vaak ook ruimte gecreëerd om water van de resterende verharding bovengronds op te vangen (stap 3.5.1.2).

3.6.1.2 Lokale afwatering naar een groenzone

Men kan ervoor opteren om delen van het openbaar domein te laten afwateren naar een (vlakke) groenzone, waar het water ter plaatse kan infiltreren. Wanneer deze groenzone groter is dan of gelijk aan 25 % van de aangesloten verharde oppervlakte, dan moeten er geen extra bronmaatregelen worden getroffen. Op die manier maakt men optimaal gebruik van de natuurlijke sponswerking van de bodem en vermijdt men maximaal dat afstroom optreedt.

3.6.1.3 Waterdoorlatend uitgevoerde verharding

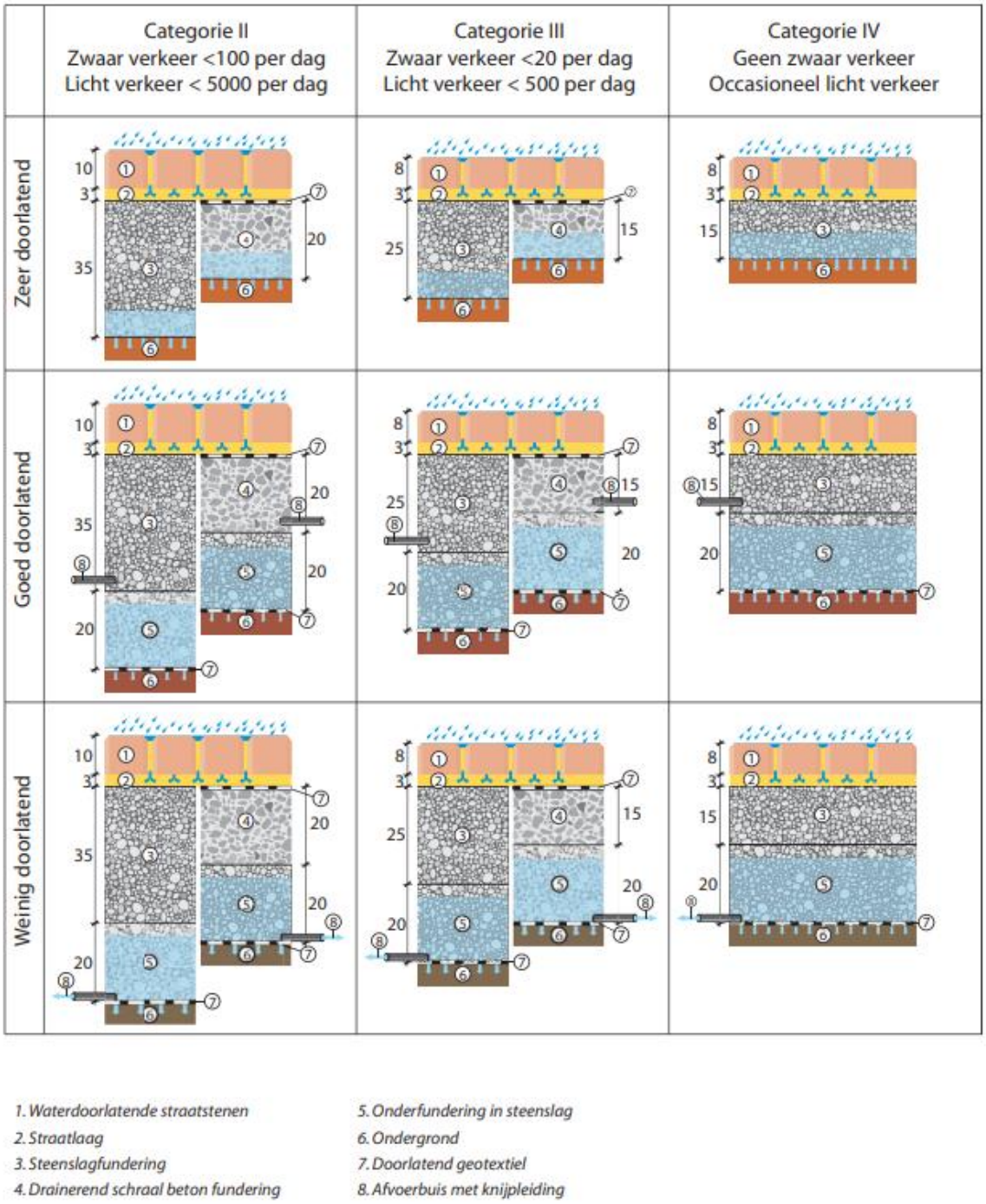
Is er toch nood aan een bepaalde vorm van verharding, dan kan men overwegen om de verharding waterdoorlatend uit te voeren. Het hemelwater infiltreert via de waterdoorlatende toplaag (betonstraatstenen, waterdoorlatend asfalt, …), de eventuele voegvulling en de straatlaag naar de fundering en onderfundering. In de onderfundering kan het water dan gebufferd worden en van daaruit infiltreren naar de bodem.

De fundering moet worden drooggehouden om de nodige draagkracht voor het verkeer te kunnen verschaffen. Bij bodems met een goede doorlatendheid (340 mm/u > Ksat ≥ 3,6 mm/u) , wordt eventueel een overloop voorzien op de grens tussen fundering en onderfundering om de fundering droog te houden en de stabiliteit te garanderen. Bij weinig doorlatende bodems (Ksat < 3,6 mm/u) kan de onderfundering gebruikt worden om hemelwater te bufferen en vertraagd af te voeren. De overloop wordt dan onderaan de onderfundering voorzien. De typische opbouw in functie van verkeersbelasting en doorlatendheid van de bodem wordt weergegeven in Figuur 4.

Bij de aanleg van dergelijke waterdoorlatend uitgevoerde verharding is het uiterst belangrijk om de volledige opbouw waterdoorlatend te maken. Het volstaat dus niet om een waterdoorlatende toplaag te voorzien. Ook de straatlaag, de fundering en de onderfundering dienen waterdoorlatend te zijn.

De volledige opbouw van een waterdoorlatende verharding dient een minimale doorlatendheid te hebben van 5,4 x 10^{-5} m/s (+/- 194 mm/u). De toplaag van de verharding wordt maximaal gelegd aan een helling van 2 % om te vermijden dat het hemelwater te snel van de verharding afloopt en niet kan indringen in de opbouw. Indien niet aan deze voorwaarden voldaan kan worden, moet men bijkomende maatregelen nemen om afstroom (ook via de (onder)fundering) van hemelwater tegen te gaan.

Het spreekt voor zich dat de toepassing van deze types verhardingen ook afhankelijk is van het gebruik van de verharding. Daarom dient in overleg met de wegbeheerder bekeken te worden waar dergelijke verhardingen toegepast kunnen worden en welke opbouw gebruikt moet worden. Typische toepassing zien we in situaties met een lage verkeersbelasting zoals parkeervakken voor personenwagens, woonstraten, pleinen en wandelstraten, fiets- en voetpaden, opritten en terrassen, scholen en speelterreinen.



Figuur 4: Opbouw waterdoorlatende bestrating in functie van de verkeersbelasting en doorlatendheid van de bodem (bron: OCW Dossier 5, Handleiding voor het ontwerp en de uitvoering van verhardingen in betonstraatstenen)

OCW Dossier 5 definieert volgende doorlatendheidsklassen voor de bodem:

- zeer doorlatende zandbodem: infiltratiedebiet (= ledigingsdebiet) 1 000 l/s/ha (= 10^{-4} m/s of 360 mm/u).
- goed doorlatende bodem: infiltratiedebiet tussen 10-6 m/s en 10-4 m/s, neem het infiltratiedebiet gelijk aan 10 l/s/ha (10-6 m/s of 3,6 mm/u).
- matig tot slecht doorlatende bodem: infiltratiedebiet kleiner dan 10-6 m/s (< 3,6 mm/u).

3.6.2 Hemelwatergebruik

Gebruik van hemelwater richt zich in de eerste plaats op het hemelwater dat van daken komt en niet zozeer op verharde bodemoppervlaktes. Door het voorzien van een hemelwaterput kan hemelwater via een tweedewatercircuit ingezet worden als duurzame waterbron voor toepassingen waar water van een mindere kwaliteit dan drinkwater voldoende is. Meer informatie rond gebruik van hemelwater is terug te vinden in de 'Waterwegwijzer bouwen en verbouwen' van de VMM en het Technisch Achtergronddocument bij de hemelwaterverordening 2023.

Aangezien werken in het openbaar domein meestal enkel betrekking hebben op de aanleg van verharde oppervlakte en geen dakconstructies omvatten, is het hergebruik van hemelwater niet verplicht. Het is echter ook niet verboden, wat impliceert dat wanneer er bijvoorbeeld toch mogelijkheden zijn om hemelwater nuttig te gebruiken, dit steeds mee kan geïntegreerd worden bijvoorbeeld om water te voorzien voor naastliggende bedrijven met een grote watervraag.

Merk op dat wanneer hemelwater wordt gecapteerd en gebruikt, dit hemelwater niet infiltreert en niet rechtstreeks bijdraagt aan de voeding van ons grondwater. Anderzijds wordt op die manier een watervraag ingevuld die anders vanuit onze primaire waterbronnen wordt gehaald. Hierdoor heeft hergebruik toch een positieve impact op de algemene droogteproblematiek. Bij werken op het openbaar domein moet overwogen worden of er opportuniteiten zijn voor de uitbouw van een collectieve hemelwaterbuffer, waarvan het water systematisch gebruikt wordt.

Het is van belang dat bij de dimensionering van de (collectieve) hemelwaterput het bruikbare volume afgestemd is op de benodigde hoeveelheid water (afname) en de oppervlakte die erop is aangesloten. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van de webtoepassing Groenblauwpeil.

3.6.3 Infiltratievoorzieningen

Waar en wanneer afstroom niet vermeden kan worden en het hemelwater niet zinvol gebruikt kan worden, dient er maximaal ingezet te worden op infiltratie van het hemelwater naar de bodem. Op deze manier wordt de natuurlijke sponswerking van de bodem hersteld. Door het water naar de bodem af te leiden is onze omgeving beter bestand tegen lange periodes van droogte en wordt de afvoer naar het oppervlaktewater vertraagd. Hierdoor wordt er tegelijkertijd bijgedragen aan het vermijden van overstromingen.

Een infiltratievoorziening wordt gekarakteriseerd door enerzijds het infiltratievolume (het volume waarin hemelwater tijdelijk opgeslagen kan worden) en de infiltratieoppervlakte (de oppervlakte die bijdraagt tot infiltratie). Deze karakteristieken bepalen, samen met de doorlatendheid van de bodem en de grondwaterstand, hoeveel hemelwater er ter plaatse gehouden en geïnfiltreerd kan worden. Het zijn dan ook zeer belangrijke ontwerpparameters.

3.6.3.1 Bovengrondse infiltratievoorzieningen

Bovengrondse systemen zijn meestal ondiepe systemen waar het hemelwater meestal via afstroming over de (verharde) oppervlakte naar afgeleid wordt. Ze zijn eenvoudiger te onderhouden dan de ondergrondse constructies en de correcte werking kan beter opgevolgd worden omdat ze zichtbaar zijn in de omgeving. Gezien hun beperkte diepte interfereren ze ook minder snel met de grondwatertafel en is het risico op een drainerende werking klein.

Bovendien zijn de bovengrondse voorzieningen meestal natuurgebaseerde oplossingen die niet enkel een meerwaarde betekenen voor de leefomgeving, maar ook koppelkansen bieden zoals een positieve impact op fijn stof, multifunctioneel ruimtegebruik (bv. recreatie) en een verkoelend effect waarmee het hitte-eilandeffect wordt tegengegaan. Het is niet voor niets dat in het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen en in het advies van de expertencommissie hoogwaterbeveiliging 'Weerbaar waterland' gepleit wordt om in te zetten op meer groenblauwe dooradering. Ook in het Vlaams Klimaatadaptatieplan is dat het geval.

Omwille van bovenstaande argumenten is er een uitgesproken voorkeur voor het toepassen van bovengrondse infiltratiesystemen.

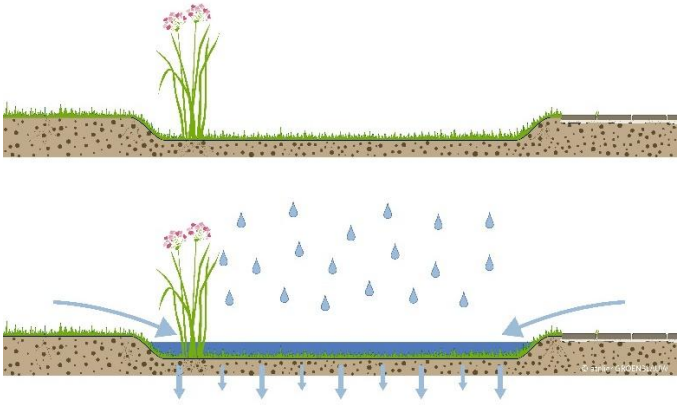
Een nadeel van de bovengrondse systemen is dat ze niet altijd in te passen zijn in de beschikbare ruimte, die ook voor andere functies aangesproken wordt. Mits enige creativiteit kan hier in de meeste gevallen echter wel een oplossing gevonden worden door in te zetten op multifunctionele inrichting.

Infiltratiekommen of -velden

Een infiltratiekom of -veld is een licht verlaagd onverhard terrein waar hemelwater kan infiltreren. De infiltratiekom is bij voorkeur begroeid met gras, planten of struiken en kan geïntegreerd worden in de groenaanplanting.

De aanvoer naar de infiltratievoorziening gebeurt bovengronds, via rechtstreekse afwatering of via open goten. Als dat niet mogelijk is, kan een ondergrondse aanvoer ook, mits de plaatsing van een blad- en zandvang. Aan het inlaatpunt moet een te grote stroomsnelheid worden vermeden.

Als een terrein te veel helt, kunnen verschillende infiltratiekommen op verschillende hoogtes (terrasgewijs) achter elkaar worden aangelegd of kunnen eventueel stuwtjes voorzien worden.



Figuur 5: Principeschets van een infiltratiekom (bron: www.blauwgroenvlaanderen.be)

Infiltratiekommen kunnen gecombineerd worden met andere functies zoals recreatief gebruik, mits er in het ontwerp aandacht wordt gegeven aan het behoud van de infiltratiefunctie (bv. hoe omgaan met verdichting door intensief gebruik als speelzone). Een doordachte keuze van de beplanting zorgt ervoor dat het onderhoud beperkt kan worden en kan bijdragen tot een verhoogde biodiversiteit.

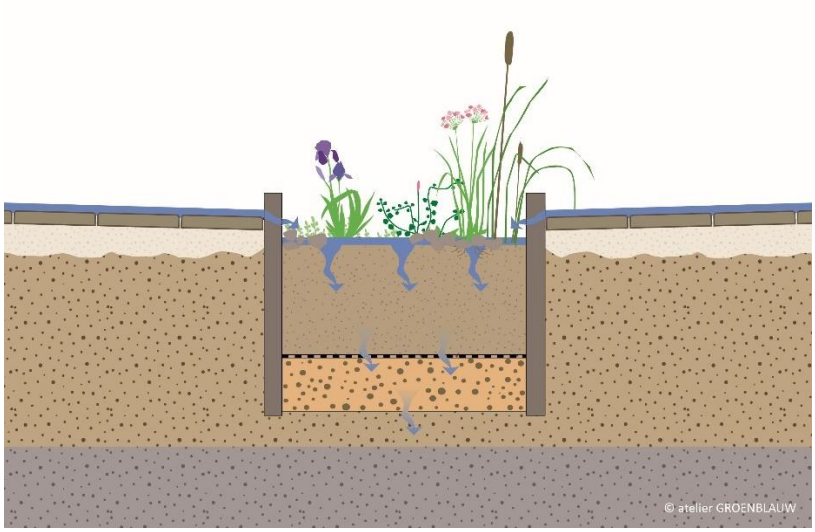
Figuur 6: Voorbeelden van infiltratiekommen (bron: blauwgroenvlaanderen.be)

Meer info: Infiltratiekommen en -velden | Blauw Groen Vlaanderen

Stedelijke infiltratiestroken

In een stedelijke omgeving waar minder ruimte beschikbaar is voor infiltratie kunnen stedelijke infiltratiestroken toegepast worden. Dit zijn verdiepte, beplante stroken die begrensd worden

door betonnen opsluitbanden. Aan de onderzijde zijn ze open, zodat het hemelwater kan infiltreren in de bodem. Ze worden ook wel ‘raingardens’ of ‘open beplante infiltratiegoten’ genoemd.



Figuur 7: Principeschets stedelijke infiltratiestroken (bron: www.blauwgroenvlaanderen.be)

Het hemelwater wordt naar de voorziening geleid via bovengrondse afstroming of via goten.

Figuur 8: Voorbeelden van stedelijke infiltratiestroken (bron: Aquafin)

Boomgroeiplaatsen kunnen als een specifieke vorm van stedelijke infiltratiestroken gezien worden. Omwille van de omvang die bomen kunnen bereiken, dient bij de aanleg van dergelijke boomgroeiplaatsen voldoende ruimte voor het wortelgestel voorzien te worden. Dit is afhankelijk van soort tot soort. In deze ondergrondse ruimte kan ook water geborgen worden, vanwaar het kan infiltreren naar de bodem of door de boom kan aangewend worden.

Het toepassen van boomgroeiplaatsen in de openbare ruimte draagt gelijktijdig ook bij aan een verkoelend effect, een afname van fijn stof en andere luchtverontreiniging en het vergroten van de algemene leefkwaliteit.

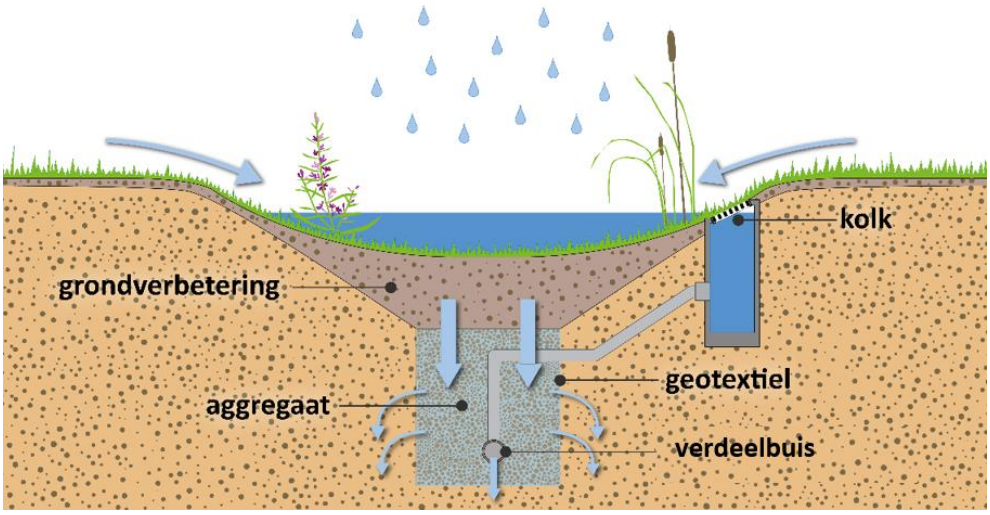
Figuur 9: Principetekening boomgroeiplaats (Stockholmprincipe) (bron: www.blauwgroenvlaanderen.be)

Meer info: Stedelijke infiltratiestroken – bioswales | Blauw Groen Vlaanderen
Bomen in de stad | Blauw Groen Vlaanderen

Wadi's

Als de ondergrond onvoldoende doorlatend is en het grondwater diep genoeg zit, kan er onder de infiltratiekom filterbedmateriaal (grind) of gelijkwaardig alternatief worden aangebracht. Dit filterbed dient dan om een minder doorlatende laag te doorbreken of om extra berging te voorzien. Een combinatie van een infiltratiekom met een ondergronds filterbed wordt een wadi genoemd. Voor de dimensionering van de buffercapaciteit wordt de som van het volume in de infiltratiekom en het ondergrondse volume (in geval van vulling van het volume met grind is dit het poriënvolume) als berging aanzien.

Om het ondergrondse eenvoudiger te vullen wordt soms een bijkomende poreuze leiding aangebracht die het water verdeelt in het ondergrondse filterbed of die het hemelwater rechtstreeks toevoert naar het ondergrondse filterbed.



Figuur 10: Principeschets van een Wadi (bron: www.blauwgroenvlaanderen.be)

Figuur 11: Voorbeeld van een WADI (Water Afvoeren Door Infiltratie) (bron: www.blauwgroenvlaanderen.be)

Meer info: Wadi's | Blauw Groen Vlaanderen

Grachten

Grachten worden ingezet om hemelwater op te vangen, vast te houden, te infiltreren en eventueel af te voeren. Ze vervullen dan ook tegelijkertijd de functie van bronmaatregel – bij normale weersomstandigheden – als die van afwateringssysteem bij extreme neerslag.

Om de bufferende en infiltrerende werking van grachten te maximaliseren worden grachten zo vlak mogelijk aangelegd. Door middel van drempels kunnen ze worden opgedeeld in compartimenten om het water ter plaatse te houden en de kans te geven te infiltreren. In hellende gebieden dienen grachten trapsgewijs aangelegd te worden. Elk compartiment kan gezien worden als een infiltratievoorziening, al dan niet in combinatie met een bufferfunctie.

Figuur 12: Voorbeelden van grachten (bronnen: milieuinfo.be, Aquafin)

Als er al grachten aanwezig zijn, dienen deze maximaal behouden en geherwaardeerd te worden. Een optimalisatie van de grachten is in de meeste gevallen wel mogelijk om het water ter plaatse te houden door het integreren van drempels in de bestaande grachten.

Meer info: Buffer- en infiltratiegrachten | Blauw Groen Vlaanderen

3.6.3.2 Ondergrondse infiltratievoorzieningen

Ondergrondse systemen zijn doorgaans duurdere, technische oplossingen die niet zichtbaar zijn in de omgeving. Hierdoor valt de visuele controle over de goede werking weg. Verder interfereren ze sneller met de grondwaterstand. Ondergrondse infiltratiesystemen zijn bovendien moeilijker toegankelijk voor onderhoud en controle, maar hebben ruimtelijk een lagere impact.

Bij deze voorzieningen komt het water meestal via een leiding in een constructie terecht. Via de zijwanden van de constructie kan het water dan in de ondergrond infiltreren. Ook via de bodem van de voorziening zal in eerste instantie infiltratie mogelijk zijn. Na verloop van tijd bestaat het risico dat deze dichtslibt, waardoor het infiltrerend vermogen langzaam afneemt. De bodem van de voorziening

wordt dan bijgevolg ook niet mee in rekening gebracht bij het bepalen van de infiltratie-oppervlakte. Voorbehandeling van het hemelwater om sedimenten te verwijderen kan dit effect afremmen.

Niettegenstaande de hemelwaterverordening duidelijk een voorkeur uitspreekt over bovengrondse infiltratievoorzieningen zullen er toch situaties zijn waar een ondergrondse infiltratievoorziening een goede oplossing biedt.

Grindkoffers en -stroken

Grindkoffers en grindstroken bestaan uit een uitgegraven ruimte bekleed met geotextiel en gevuld met grind of vergelijkbaar materiaal (geëxpandeerde kleikorrels, schelpen …). Hemelwater wordt via oppervlakkige afstroming of eventueel via goten aangevoerd. In de holle ruimtes tussen het grind wordt het water gebufferd en krijgt het de kans om te infiltreren naar de bodem. Als buffervolume wordt enkel het poriënvolume in rekening gebracht. Ze nemen bovengronds vaak minder plaats in dan grachten of infiltratiekommen en kunnen toegepast worden waar de bodem een lagere doorlatendheid heeft.

Figuur 13: Voorbeeld van infiltratie via een grindstrook (bron: www.blauwgroenvlaanderen.be)

Meer info: Grindkoffers en -stroken | Blauw Groen Vlaanderen

Infiltratieput of -paal

Een infiltratieput of -paal is een verticale put met geperforeerde of poreuze wanden. Het hemelwater infiltreert via de zijkanten. Dit systeem neemt weinig plaats in beslag, maar is enkel toepasbaar in gebieden met een zeer lage grondwaterstand. De bodem zal vrij vlug aanslibben. De wanden laten infiltratie toe tot een aanzienlijk deel van het volume van de put gevuld is met slib. Na een slibruiming kan de infiltratiecapaciteit hersteld worden.

Figuur 14: Verticale infiltratiepalen

Meer info: Verticale infiltratiepaal | Blauw Groen Vlaanderen

Infiltratiekolken en infiltrerende huisaansluitingen

De infiltratiekolk is net zoals de infiltratieput een verticaal element. De onderbak bestaat uit een poreuze, geboorde of gesleufde buis, omwikkeld met geotextiel. Het grote verschil met de

infiltratieput is dat de kolk, naast infiltratie, ook een inzamelfunctie heeft. Infiltratiekolken kunnen afzonderlijk of in een onderling verbonden stelsel worden toegepast. Deze toestellen vragen uiteraard wel een zeer regelmatige reiniging.

Figuur 15: Een infiltratiekolk (bron: VLARIO)

Meer info: Infiltratiekolken en infiltrerende huisaansluitingen | Blauw Groen Vlaanderen

Infiltratieleiding/infiltratieriool

Een infiltratieleiding is een horizontale constructie en is dus in vergelijking met een infiltratieput beter toepasbaar wanneer het grondwater hoger zit. Een infiltratiebuis is een geperforeerde of waterdoorlatende buis, soms omhuld met kiezel en geotextiel. Deze buizen kunnen een netwerk vormen over een relatief grote (zijdelingse) infiltratie-oppervlakte.

Figuur 16: Infiltratieleidingen

Meer info: Infiltratieriool | Blauw Groen Vlaanderen

Ondergrondse infiltratiebekkens

Ondergrondse infiltratievolumes nemen bovengronds geen ruimte in en maken daardoor dubbel ruimtegebruik mogelijk. Het zijn volumes waarin hemelwater kan worden opgeslagen en van waaruit het hemelwater kan infiltreren naar de bodem. Ze komen voor onder verschillende vormen zoals infiltratiekratten, infiltratiekelders, …. Aandachtspunt is dat de ondergrondse infiltratievoorziening pas kan gevuld worden met water als de aanwezige lucht simultaan kan ontsnappen. Een goed gekozen ontluchtingssysteem is dus onontbeerlijk. Er moet ook aandacht gaan naar de stabiliteit en vormvastheid. Deze dient door de leverancier gegarandeerd te worden in functie van de te verwachten belasting.

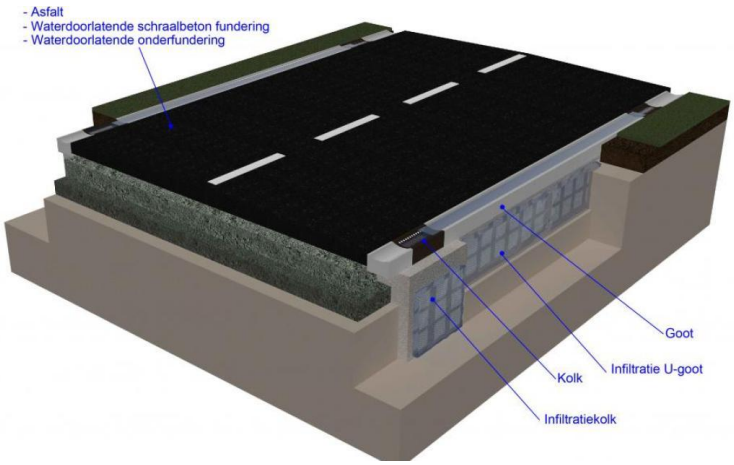
Aandacht moet ook gegeven worden aan de onderhoudbaarheid van deze systemen. Ze dienen over de volledige oppervlakte geïnspecteerd en gereinigd te kunnen worden. In dat opzicht moet ook de toegankelijkheid gegarandeerd worden via voldoende en voldoende grote deksels.

Figuur 17: Ondergrondse infiltratiebekkens

Meer info: Ondergronds infiltratievolume | Blauw Groen Vlaanderen

Waterdoorlatende onderfundering met ondoorlatende verharding

Op plaatsen waar een waterdoorlatende verharding niet aangewezen is omwille van de verkeersbelasting of comfort (bv. fietspaden), kan ook ingezet worden op een waterdoorlatende (onder)fundering waarboven een klassieke afwerkingslaag in asfalt of beton wordt voorzien. Het hemelwater wordt via infiltratiekolken of infiltratiegoten (U-goot) naar de infiltrerende onderfundering afgeleid. Dit type bronmaatregel kan gelijkwaardig beschouwd worden aan de waterdoorlatende verharding (3.6.1.3). Ook hier moet de nodige aandacht besteed worden aan de ontluchting van het infiltratievolume.



Figuur 18: Waterdoorlatende onderfundering met ondoorlatende verharding (bron: Aquafin)

Meer info: Waterdoorlatende onderfundering met ondoorlatende verharding | Blauw Groen Vlaanderen

3.6.4 Bufferen en vertraagd afvoeren

Wanneer de bodemdoorlatendheid (Ksat) ≤ 0.5 mm/u (1,4 x10^{-7} m/s) biedt infiltratie weinig meerwaarde. In dat geval moet ingezet worden op bufferen en vertraagd afvoeren. Het doel van deze maatregel is het afvlakken van de piekafvoeren richting het afwaartse watersysteem.

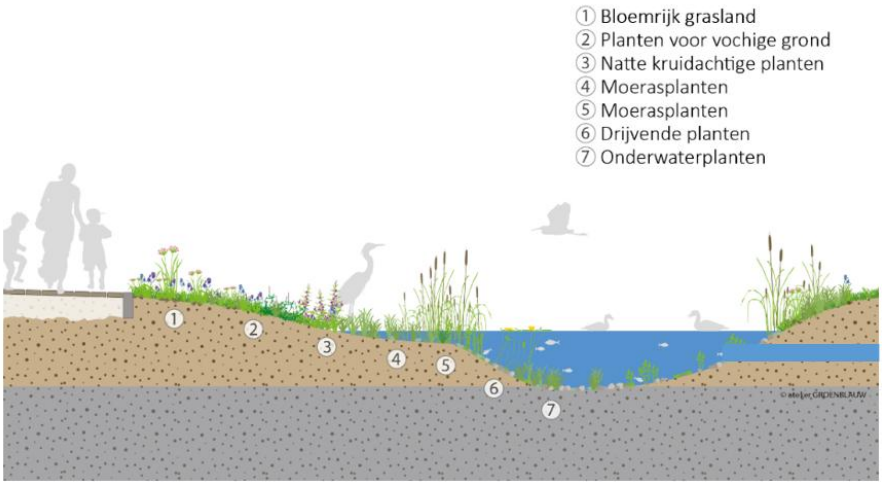
Dit type maatregel bestaat steeds uit een buffervolume waar het hemelwater in opgehouden kan worden, een debietbegrenzer die de piekafvoer beperkt en een overlaat die het opwaartse systeem beveiligt tegen wateroverlast.

Buffervoorzieningen kunnen, net zoals infiltratievoorzieningen, zowel boven- als ondergronds uitgebouwd worden. Ook hier hebben bovengrondse voorzieningen de voorkeur omdat ze vaak goedkoper zijn (zowel wat aanleg als onderhoud betreft) en de werking gemakkelijker opgevolgd kan worden.

Bovendien kunnen ze ecologisch ingericht[7] worden, waardoor ze een landschappelijke meerwaarde creëren en kunnen bijdragen aan biodiversiteit. Ook gecombineerd ruimtegebruik (bv. in kader van sport of recreatie) is zeker mogelijk.

Omwille van operationele redenen (verstoppingsgevaar) zijn er beperkingen aan het minimum doorvoerdebiet dat kan gerealiseerd worden (cfr. 3.6.3.2). Hierdoor kan voor systemen met een beperkte afwaterende verharde oppervlakte vaak niet voldoende afgeknepen worden om het buffervolume aan te spreken. In die gevallen is het dan ook niet zinvol om lokale buffering uit te bouwen en wordt deze beter collectief voorzien voor een ruimer gebied of dient men alsnog terug te grijpen naar andere bronmaatregelen.

Ondergrondse voorzieningen zijn gemakkelijker te integreren in de openbare ruimte.



Figuur 19: Ecologische inrichting van een bovengrondse buffervoorziening (bron: www.blauwgroenvlaanderen.be)

Meer info: [Bovengrondse buffer en natuurvriendelijke oevers | Blauw Groen Vlaanderen]
[Buffering en vertraagde afvoer | Blauw Groen Vlaanderen]

3.6.5 Overzicht – wanneer infiltreren of bufferen en vertraagd afvoeren

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de voorkeursbronmaatregelen in functie van de doorlatendheid van de bodem. Merk op dat er nog andere factoren zijn die de keuze van de bronmaatregelen bepalen. We denken daarbij in de eerste plaats aan de hoogte van de grondwatertafel, maar ook de ruimtelijke context heeft hier invloed op.

Tabel 1: Voorkeursbronmaatregelen in functie van bodemdoorlatendheid (K_{sat})

Infiltratiecapaciteit (K_{sat})		**Voorkeursbronmaatregel**
$K_{sat} > 5$ mm/u	$K_{sat} > 1{,}4 \times 10^{-6}$ m/s	100 % infiltratie
5 mm/u $\geq K_{sat} > 0{,}5$ mm/u	$1{,}4 \times 10^{-6}$ m/s $\geq K_{sat} > 1{,}4 \times 10^{-7}$ m/s	combinatie infiltratie en bufferen met vertraagde afvoer
$K_{sat} \leq$ 0,5 mm/u	$K_{sat} \leq 1{,}4 \times 10^{-7}$ m/s	100 % bufferen met vertraagde afvoer en bijkomend inzetten op vermijden van afvoer; de doorvoer ligt minstens 5 cm boven de bodem van de buffervoorziening

[7] https://blauwgroenvlaanderen.be/uploads/Ontwerprichtlijn-Ecologisch-Bufferbekken.pdf

3.7 Dimensionering bronmaatregelen

Onder deze paragraaf wordt de workflow beschreven om te komen tot een doordacht systeem van bronmaatregelen dat op een duurzame manier voor de verwerking van hemelwater zorgt.

Het ontwerp van bronmaatregelen voor het openbaar domein is gebiedsgericht maatwerk, waarbij rekening dient gehouden te worden met de lokale situatie (ondergrond, reliëf, type bebouwing, mogelijkheden, noden en knelpunten, ruimtegebruik, …) en met de karakteristieken van het ontvangende oppervlaktewater. Proactief overleg met betrokkenen/stakeholders is daarbij ook aangewezen/aan te bevelen.

3.7.1 In rekening te brengen oppervlakten

Bronmaatregelen op het openbaar domein moeten beschouwd worden als een systeem van collectieve bronmaatregelen die gedimensioneerd worden in functie van de verharding die erop aansluit. Het is dus belangrijk om eerst een duidelijk zicht te krijgen op de oppervlaktes die in rekening gebracht moeten worden.

De voor de dimensionering in rekening te brengen verharde oppervlakte wordt bepaald als de som van:

a) de aan te leggen of her aan te leggen wegverharding binnen de projectzone;
b) de som van de horizontale dakoppervlakten (vb. fietsenstalling, schuilhokjes, kiosken,…) van:
    1. de nieuw te bouwen, te herbouwen of te verbouwen overdekte constructies op het openbaar domein;
    2. de uitbreiding van de overdekte constructies op het openbaar domein;
c) bij uitbreiding van bestaande dakoppervlakten op het openbaar domein wordt de oppervlakte vermeld in b.2. vermeerderd met minimaal twee keer de oppervlakte vermeld in b.1., maar nooit meer dan de volledige horizontale dakoppervlakte van de bestaande constructie waar tegenaan gebouwd wordt en in beheer is bij dezelfde instantie.
d) 80 m² per bebouwd of bebouwbaar perceel binnen of grenzend aan de projectzone, waarvan het hemelwater aansluit of aangesloten zal worden op het project

Oppervlaktes die worden uitgevoerd als waterdoorlatende verharding (met helling ≤ 2 %) of die afwateren naar een onverharde zone die groter is dan of gelijk is aan 25 % van de afwaterende verharding waar het water kan infiltreren zonder dat hiervoor een afvoer voorzien moet worden, dienen hierbij niet in rekening gebracht te worden.

Indien op deze onverharde zone een noodoverloop wordt voorzien, dient de onverharde zone uitgevoerd te worden met een maaiveldverlaging van gemiddeld minstens 5 cm.

Wanneer het hemelwater afgeleid wordt naar een groenzone die kleiner is dan 25 % van de in te rekenen oppervlakte, dan dienen nog bijkomende bronmaatregelen uitgebouwd te worden voor de in te rekenen oppervlakte verminderd met 4 x de oppervlakte van de groenvoorziening.

REKENVOORBEELD

Er dienen voorzieningen ontworpen te worden voor een project waarbij 500 m² verharding ingerekend dient te worden. Deze oppervlakte watert af naar een groenzone van 100 m². Er moeten dan nog bronmaatregelen uitgebouwd worden voor een equivalente oppervlakte van 100 m², wat overeenkomt met 500 m² - (4 x 100 m²), omdat de groenzone maar voldoende groot beschouwd wordt om het hemelwater van 400 m² in te rekenen verharding te kunnen verwerken.

Ook hoeven geen bijkomende bronmaatregelen uitgebouwd te worden voor verhardingen die in de huidige en toekomstige situatie verspreid aangesloten zijn op een fijnmazig grachtenstelsel. Dit op

voorwaarde dat het grachtenstelsel behouden of (deels) geherwaardeerd wordt als afvoerweg voor hemelwater en dat het afgevoerde hemelwater terechtkomt in een waterlopenstelsel waar geen noemenswaardige wateroverlastproblematiek gekend is. Deze verhardingen moeten dus ook niet in rekening gebracht worden. Het is wel nodig om de grachtenstelsels zodanig in te richten dat wordt ingezet op het maximaal ter plaatse houden van regenwater en niet meer enkel op afvoer.

In regel worden de verhardingen die stroomopwaarts aansluiten maar buiten de projectzone liggen niet in rekening gebracht bij de dimensionering van de bronmaatregelen. De impact van deze oppervlakten dient echter wel onderzocht te worden en het is aangewezen een visie uit te werken (bijvoorbeeld als onderdeel van een hemelwaterplan) waarin wordt verduidelijkt hoe met deze oppervlakten zal worden omgegaan. Indien noodzakelijk kan de dimensionering van de bronmaatregelen binnen het project bijgestuurd worden in functie van deze visie.

Omdat de in rekening te brengen oppervlakten de dimensionering van de bronmaatregelen bepalen, is het aangewezen om in deze fase nogmaals kritisch te bekijken of de verhardingen echt noodzakelijk zijn. Je kan de afmetingen van je bronmaatregelen immers verkleinen door verhardingen te voorzien als een waterdoorlatende verharding of te vervangen door groenzones.

Ook wanneer andere werken aan de bovenbouw worden uitgevoerd, is het steeds aangewezen om de bestaande verhardingen in vraag te stellen en waar opportuun te ontharden of ze te vervangen door voorzieningen die plaatselijke infiltratie mogelijk maken.

Hemelwater afkomstig van onverharde oppervlaktes wordt als natuurlijke afstroom beschouwd. Aangesloten afwaterende onverharde oppervlaktes worden daarom niet in rekening gebracht bij dimensionering van de bronmaatregelen, maar zullen uiteraard wel een impact hebben op de werking van de voorzieningen. Is deze impact te groot dan wordt in overleg met de waterloopbeheerder en andere betrokken partijen (zoals landbouw en visserij, erosiecoördinator, natuur, …) onderzocht of en welke specifieke opwaartse bronmaatregelen voor die onverharde oppervlaktes moeten uitgebouwd worden. Het project kan dan gezien worden als een opportuniteit voor één van de stakeholders om een specifiek probleem aan te pakken.

3.7.2 Infiltratievoorzieningen

Het hemelwater wordt bij voorkeur op of zo dicht mogelijk bij de locatie waar het gevallen is via infiltratie naar de bodem afgevoerd. Hierbij wordt er maximaal ingezet op bovengrondse infiltratievoorzieningen.

3.7.2.1 Bepalende ontwerpparameters

De werking van een infiltratievoorziening wordt bepaald door enerzijds de doorlatendheid van de bodem en anderzijds door de infiltratieoppervlakte en het infiltratievolume.

De infiltratieoppervlakte is de nuttige wand- en/of bodemoppervlakte van de infiltratievoorziening waarlangs het water naar de omliggende bodem kan stromen.

Het infiltratievolume is het nuttige volume van de constructie waarbinnen water gebufferd kan worden om vertraagd naar de bodem te stromen. Het is het volume dat wordt afgebakend tussen de overloop van de infiltratievoorziening enerzijds en anderzijds de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) of de bodem van de infiltratievoorziening als die zich boven de GHG bevindt (zie Figuur 22)

Als binnen een constructie meerdere wanden met verschillende doorlatendheden aanwezig zijn, wordt er voor de infiltratieoppervlakte en het infiltratievolume steeds rekening gehouden met de wand die de grootste weerstand voor de stroming betekent. In de meeste gevallen zal dit de overgang tussen de constructie en de bodem zijn. Dit betekent bijvoorbeeld dat voor systemen die omhuld zijn door een grindkoffer ook de wandoppervlakte en het poriënvolume van de grindkoffer meegerekend

mogen worden in respectievelijk het infiltratieoppervlak en het infiltratievolume. Voorwaarde is dan wel dat deze omhulling voldoende ontluchting heeft.

De doorlatendheid van de bodem (K_{sat}) is een bodemeigenschap waar de ontwerper geen vat op heeft, doch een belangrijke impact heeft op het ledigingsdebiet van de infiltratievoorziening. Daarom is het noodzakelijk om een goed beeld te krijgen van de doorlatendheid van de bodem. Voor de bepaling van deze doorlatendheid verwijzen we naar 3.10.2. Hoewel de ontwerper geen vat heeft op deze waarde, kan de uitvoering van de werken er wel een grote impact op hebben als door zware belasting de bodem wordt gecompacteerd. Het vermijden of remediëren van compactie (bv. door het breken van een ploegzool) is bijgevolg cruciaal om een goede werking van de voorzieningen te garanderen.

Het ledigingsdebiet $Q_{lediging}$ van een infiltratievoorziening kan dan berekend worden als:

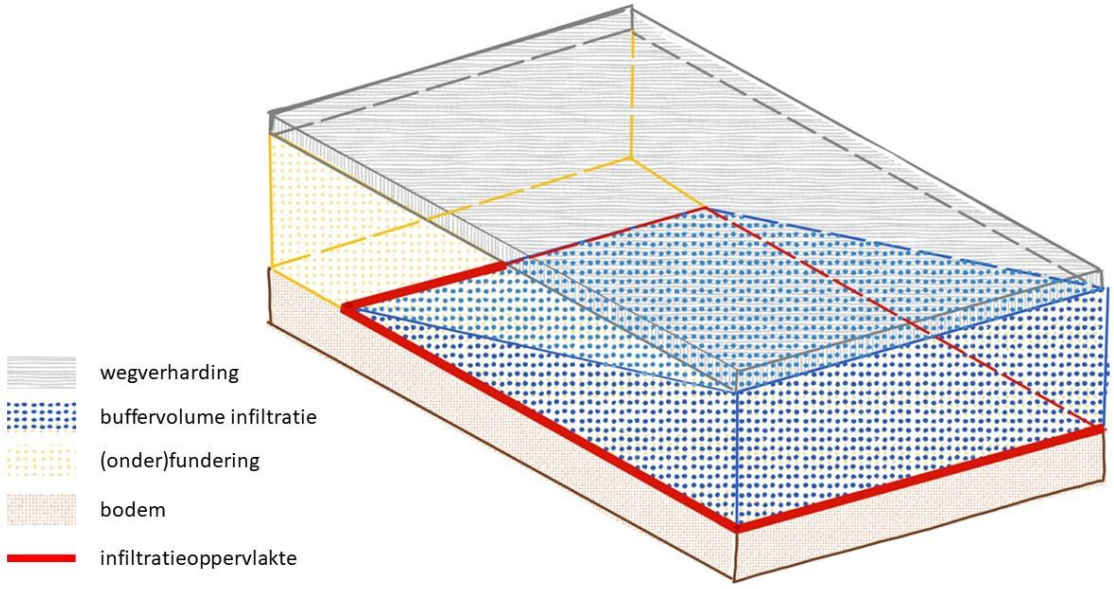
$$Q_{lediging}[\text{m}^3/\text{s}] = K_{sat}[m/s] \times infiltratieoppervlakte\ [\text{m}^2]$$

De wandoppervlakten en volumes die mogen meegerekend worden in de infiltratieoppervlakte en het infiltratievolume zijn afhankelijk van het type infiltratievoorziening dat wordt toegepast en de concrete uitwerking ervan. Hou er rekening mee dat de infiltratieoppervlakte afhankelijk kan zijn van de vulling van het systeem en dus variabel kan zijn over de tijd dat de voorziening geledigd wordt.

Waterdoorlatende verhardingen

Bij waterdoorlatende verhardingen komt het infiltratieoppervlak in principe overeen met de horizontale projectie van de waterdoorlatende verharding. Het infiltratievolume beperkt zich tot het nuttig volume in de onderfundering. De fundering mag omwille van stabiliteitsredenen enkel als kortstondige waterbuffer gebruikt worden en mag dus niet ingerekend worden als infiltratievolume. Waar nodig wordt een overloop voorzien die de fundering vertraagd laat leeglopen. Er kan uitgegaan worden van een porositeit van de onderfundering van 23 % (bron: OCW dossier 5 p 12).

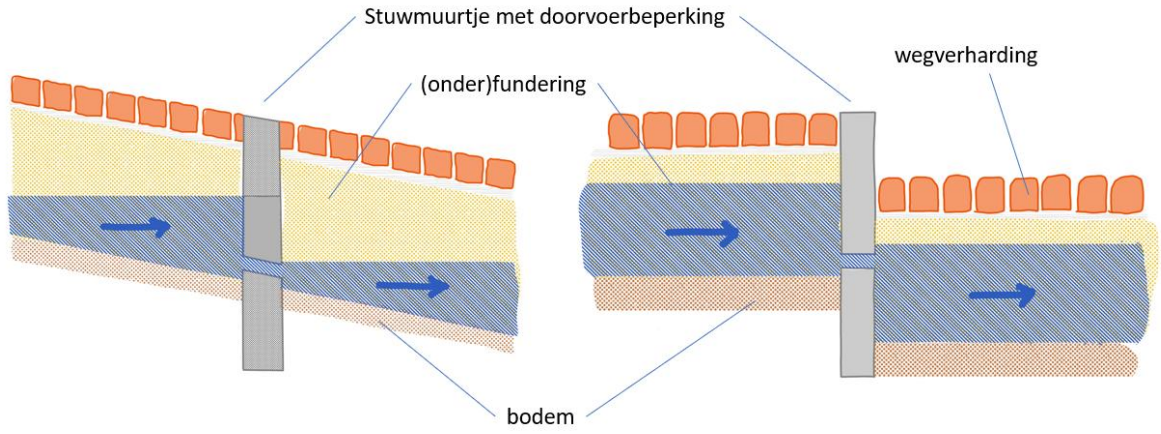
Als de terreinhelling groter is dan 2 % dient men bij de bepaling van het infiltratieoppervlak en het infiltratievolume hiermee rekening te houden (Figuur 20). Men dient dan ook maatregelen te voorzien afstroming over de waterdoorlatende verharding en om stromingen doorheen de (onder)fundering te beperken. Zo kan men de oppervlakte trapsgewijs aanleggen en de onderfundering desgevallend compartimenteren (zie Figuur 21).



Figuur 20: Infiltratievolume in de onderfundering, rekening houdend met de terreinhelling

Voor grotere oppervlaktes, zoals parkings, kan eventueel ook in terrassen gewerkt worden. Op die manier vermijdt men dat het hemelwater op het laagste punt van de verharding aan de oppervlakte komt en voor overlast zorgt.

De volledige opbouw van een waterdoorlatende verharding dient een minimale doorlatendheid te hebben van 5,4 x 10-5 m/s (+/- 194 mm/u).



Figuur 21: Gebruik van stuwmuurtjes en terrassen bij infiltratie via de wegkoffer in hellende gebieden

Bovengrondse infiltratievoorzieningen

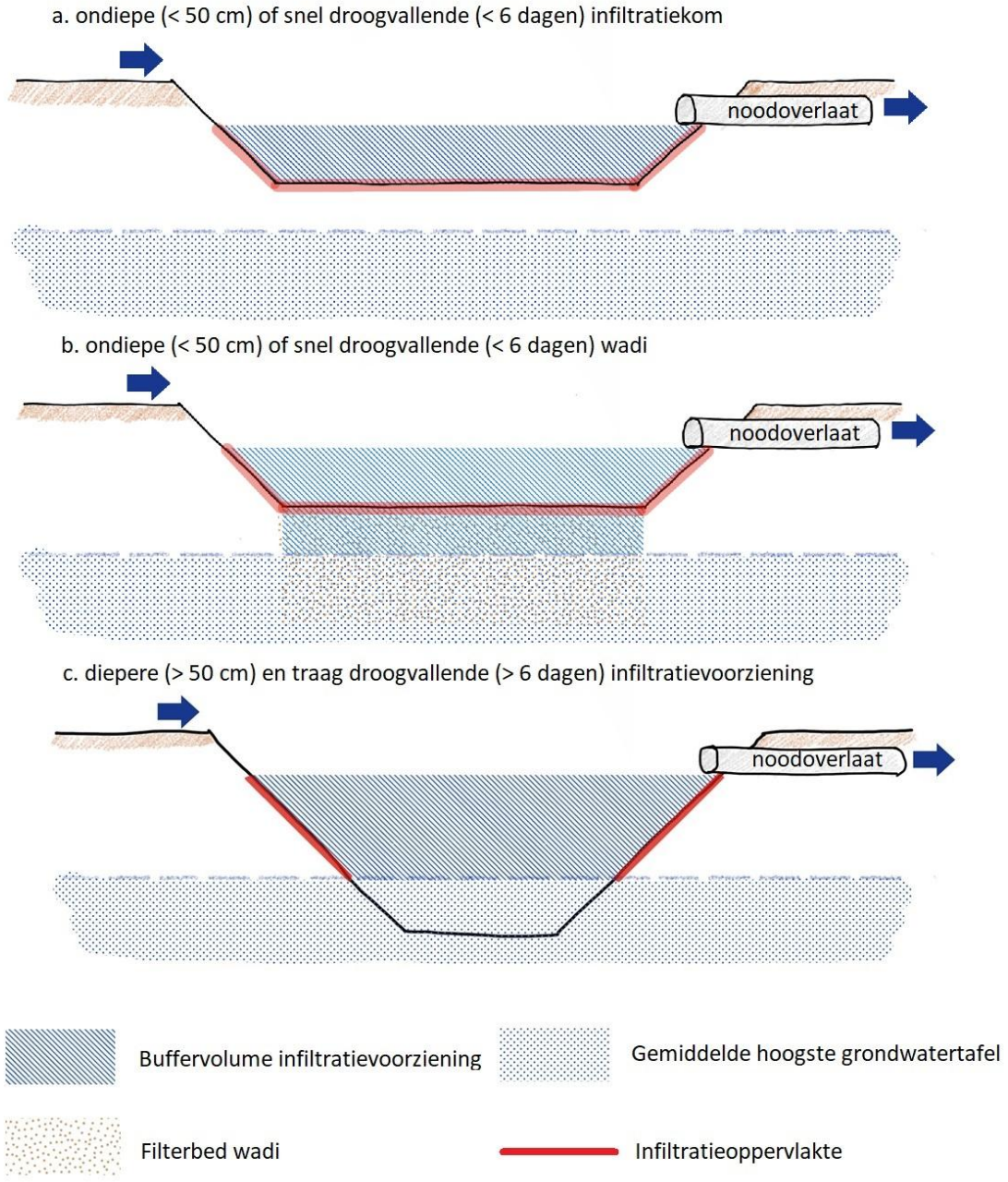
Bij bovengrondse infiltratievoorzieningen mogen zowel het bodemoppervlak als de wanden van de infiltratievoorziening als infiltratieoppervlakte beschouwd worden, wanneer de bodem van de infiltratievoorziening boven de GHG ligt en als de ledigingstijd bij inrekening van de bodem en bij volledige vulling kleiner of gelijk aan 144 u (6 dagen) is en er een onderhoudsprogramma wordt uitgevoerd om de doorlatendheid van de bodem van de voorziening in stand te houden. Bij het ontwerp van diepere voorzieningen dient dan ook rekening gehouden te worden met de toegankelijkheid van de voorziening voor onderhoudsdoeleinden.

Om te evalueren of de bodem ingerekend mag worden, kan de ledigingstijd pragmatisch benaderd worden als:

$$Ledigingstijd\ [s] = \frac{infiltratievolume\ [m^3]}{Ksat\ \left[\frac{m}{s}\right] \times (bodemoppervlakte + wandoppervlakte)\ [m^2]}$$

Voor een exactere bepaling van de ledigingstijd wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van een modelmatige benadering waarbij de fluctuaties in de vulling van het infiltratievolume ook in rekening gebracht worden. Bij voorzieningen die een grote (bodem)oppervlakte hebben ten opzichte van de wandoppervlakte kan eenvoudigheidshalve gerekend worden met oppervlakte van de horizontale projectie van de voorziening.

Als aan deze voorwaarden niet voldaan is, mag enkel de oppervlakte van de wanden boven de GHG en onder de doorvoer in rekening gebracht worden.

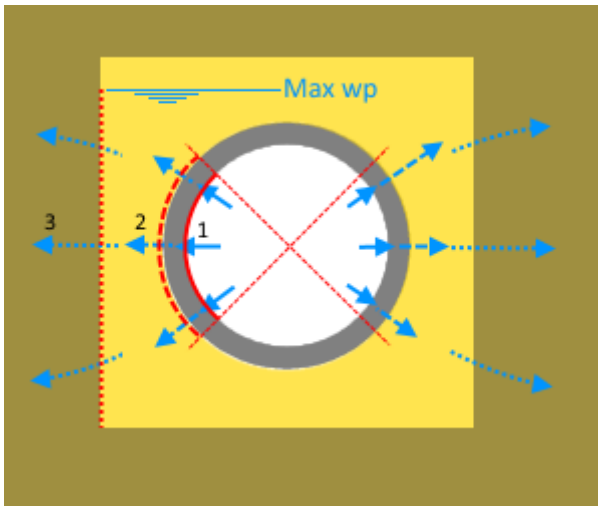


Figuur 22: Infiltratieoppervlakte en -volume bij bovengrondse infiltratievoorzieningen

Ondergrondse infiltratievoorzieningen

Bij ondergrondse infiltratievoorzieningen mogen enkel de zijwanden ingerekend worden als infiltratie-oppervlak. De bodem zal na verloop van tijd immers aanslibben en praktijkervaring leert dat de infiltratiecapaciteit door onderhoudsmaatregelen niet volledig geregenereerd kan worden. Dit is dus een ontwerpaanname die moet garanderen dat de voorziening op langere termijn voldoende performant blijft.

Als men gebruik maakt van infiltratiebuizen worden enkel de 2 zijkwarten van de leiding meegerekend (Figuur 23). Voor de eenvoud wordt de kleinste oppervlakte (oppervlakte 1) gecombineerd met de kleinste doorlatendheid (meestal deze van de natuurlijke bodem).



Figuur 23: In rekening te brengen infiltratieoppervlaktes bij infiltratieleidingen

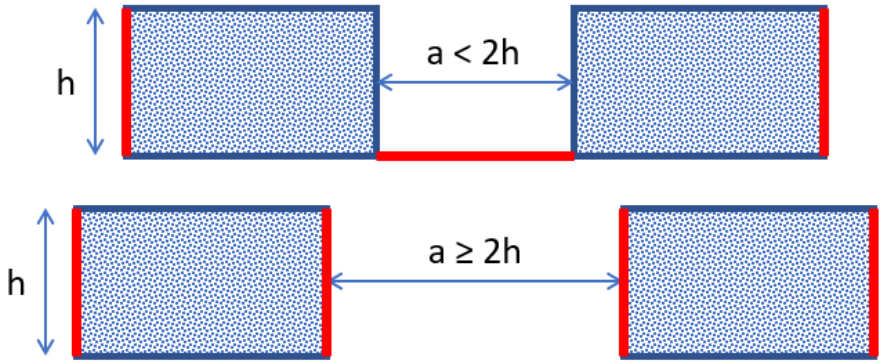
Men zou echter ook in detail op zoek kunnen gaan naar de overgang met de grootste weerstand (= kleinste infiltratiesnelheid):

- De eerste overgang wordt bepaald door de infiltratiecapaciteit van de buiswand. Normaliter moet deze voldoen aan BENOR-merk waarin een minimale k-waarde van 2,5* 10^-4 m/s. (900 mm/u) geëist wordt voor doorlatende betonbuizen.
  De infiltratieoppervlakte is dus bepaald als 2 kwarten van de binnendiameter.
- De tweede overgang is de stroming vanuit de buiswand tot in het pakket dat de infiltratiebuis omhuld. Tenzij de omhulling merkelijk doorlatender is dan het oorspronkelijke bodemmateriaal, is deze overgang de meest bepalende.
  Deze stroming kan bepaald worden op basis van de infiltratiecapaciteit van de omhulling en 2 kwarten van de buitendiameter van de buis
- De derde overgang is de stroming vanuit de omhulling naar de oorspronkelijke bodem. Het lijkt hier logisch om zeker de verticale sleufoppervlakte (gelimiteerd tot het vulpeil van de infiltratieleiding) in te rekenen.

Indien de GHG onder de bodem van de omhulling blijft, kan de bodemoppervlakte eventueel ook als infiltratieoppervlakte ingerekend worden. Er is immers slechts beperkte kans op dichtslibben van de bodem van de omhulling. Het zwevend en/of bezinkbaar materiaal wordt gefilterd door de buiswand (regenereerbaar).

Het resulterend infiltratiedebiet zal de kleinste zijn van de 3 genoemde fluxen. Hierbij mag de bepalende oppervlakte beschouwd worden om te voldoen aan de 8% infiltratieoppervlakte. Indien de omhulling de grootste doorlatendheid heeft, mag dus in regel gerekend worden met de oppervlakte van de verticale oppervlakte van de 2 sleufwanden onder het verwachte waterpeil in de leiding en de bodem van de omhulling (indien boven de GHG).

Wanneer infiltratiekratten of leidingen met onderlinge tussenafstanden voorzien worden om de infiltratieoppervlakte te vergroten, wordt de infiltratieoppervlakte bepaald als 2x de hoogte van de voorziening vermeerderd met de tussenafstand als de onderlinge afstand tussen de kratten of leidingen kleiner is dan tweemaal de hoogte van de infiltratievoorziening. Wanneer de tussenafstand groter of gelijk is aan tweemaal de hoogte van de infiltratievoorziening, dan moeten de zijwanden in rekening gebracht worden. Dit wordt verduidelijkt in Figuur 24.



Figuur 24: Impact van de onderlinge afstand van infiltratievoorzieningen op de in rekening te brengen infiltratieoppervlakte (rode aanduiding)

Ook voor ondergrondse infiltratievoorzieningen wordt het volume gerekend tussen de overloop en de bodem van de voorziening. Merk op dat voor ondergrondse voorzieningen ontluchting moet voorzien worden.

Interferentie met de grondwatertafel

Men dient verder rekening te houden met de diepte van het grondwater. In principe mag enkel het infiltratievolume en de infiltratieoppervlakte die boven de GHG gelegen is daarbij ingerekend worden. Dit is ook van toepassing voor ondiepe voorzieningen (≤ 0,5 m) wanneer uit metingen van de grondwatertafel blijkt dat de GHG toch hoger blijkt te zijn dan de bodem van de voorziening.

Bij het inschatten van het effect van de infiltratievoorzieningen kan eventueel rekening gehouden worden met de fluctuaties in het grondwaterpeil in de loop van het jaar en kan het ontwerp desgevallend geoptimaliseerd worden. Op die manier kan op locaties waar in de winter zich hoge grondwaterstanden voordoen toch ingezet worden op infiltratie, wanneer in de zomer de grondwatertafel lager is.

Om drainage via de overloop te vermijden, dient deze steeds boven de GHG gelegen te zijn. Er wordt aangenomen dat dit het geval is wanneer de overloop zich op 30 cm of minder onder het maaiveld bevindt.

3.7.2.2 Startontwerpwaarden infiltratievoorzieningen

We zetten maximaal in op infiltratie waarbij gestreefd wordt naar onderstaande startontwerpwaarden:

- het infiltratievolume bedraagt 330 m³/ha (33 l/m²) in te rekenen verharde oppervlakte
- het infiltratieoppervlak bedraagt 8 m²/100 m² (8 %) in te rekenen verharde oppervlakte

Het ontwerp wordt daarna verder geoptimaliseerd in functie van de lokale omstandigheden, waarbij gestreefd wordt naar een systeem dat een gelijkwaardige of betere impact heeft op het watersysteem. De parameters (aandeel infiltratie, totale afvoervolume, …) waarop geoptimaliseerd moet worden, zijn af te spreken met de waterloopbeheerder.

Dit impliceert dat een ontwerp in overeenstemming met deze startwaarden als referentiesituatie geldt voor het uiteindelijke ontwerp. Deze startontwerpwaarden zijn dus noch minimale, noch maximale waarden. Met de nodige onderbouwing kan hier dus van afgeweken worden. In de praktijk zullen vaak andere combinaties van infiltratievolume en infiltratieoppervlak voorkomen.

3.7.3 Buffervoorzieningen

Als de lokale situatie niet toelaat om een infiltratiesysteem uit te bouwen dat de impact op het afwaartse systeem mildert kan deels of geheel gerekend worden op buffervoorzieningen met een vertraagde afvoer.

In deze gevallen is het uitbouwen van een buffering met vertraagde afvoer verplicht (zie 3.6.1.1) vanaf een afwaterende oppervlakte van 1000 m².

3.7.3.1 Bepalende ontwerpparameters

De werking van een buffervoorziening met een vertraagde afvoer wordt enerzijds bepaald door het uitgebouwde, nuttige buffervolume en anderzijds door een doorvoerconstructie die voor een vertraagde doorvoer zorgt.

Het nuttige buffervolume is het volume tussen het vloeipeil van de doorvoerconstructie en de nooduitlaat van het bekken.

De doorvoer wordt in principe boven het normaal waterpeil in de waterloop voorzien. Indien het normaal waterpeil in de waterloop boven het niveau van de doorvoer ligt, telt enkel het buffervolume boven het normale waterpeil.

3.7.3.2 Startontwerpwaarden buffervoorzieningen

Als Ksat < 0,5 mm/u en de afwaterende oppervlakte is groter dan of gelijk aan 1000 m² is een buffervoorziening verplicht met onderstaande startontwerpwaarden:

- Een buffervolume van 43l/m² of 430m³/ha van de in rekening te brengen verharding
- Een doorvoerdebiet van 5 l/s/ha, met een (technisch) minimum van 1 l/s wanneer er geen risico op verstopping is (gesloten systeem, geen aangesloten grachten, …). Is het risico op verstopping groter dan kan het doorvoerdebiet maximaal beperkt worden tot 10 l/s.

Het is aangewezen om de doorvoer 5 cm boven de bodem van de buffervoorziening te voorzien. Wanneer de bodem waterdoorlatend wordt uitgevoerd, kan nog steeds een beperkt deel van het hemelwater infiltreren.

Ook hier geldt, net zoals bij de infiltratievoorzieningen, dat in geval van optimalisaties het uiteindelijke ontwerp kan afwijken van deze startwaarden.

3.7.4 Evaluatie en optimalisatie van het ontwerp

Een ontwerp op basis van de in 3.7.2.2 en 3.7.3.2 vermelde startwaarden kan in heel wat gevallen nog verder geoptimaliseerd worden.

Hierbij wordt het ontwerp aangepast aan de lokale omstandigheden en wordt het hydraulisch gedrag van de voorziening zowel wat betreft de impact op het afwaartse systeem als wat betreft de risico's op wateroverlast in het ontworpen stelsel geëvalueerd. Er dient hierbij wel voldoende ruim gekeken te worden en niet enkel het net afwaartse ontvangende stelsel in rekening gebracht te worden voor een evaluatie.

Een dergelijke impactberekening gebeurt aan de hand van een berekening met een langjarige neerslagreeks (gedetrende Ukkelreeks[8]), waarbij het totale afgevoerde volume (doorvoer- en overstortvolume) en het piekdebiet geëvalueerd worden. Het gebruik van conceptuele modellen (bv. Sirio©) is hiervoor aangewezen. Bij voorzieningen met een ledigingstijd (o.b.v. de formule onder 3.7.2.1) kleiner dan 24u kan de berekening ook uitgevoerd worden met een hydrodynamisch model aan de hand van composietbuien (zie Technische toelichting deel 5).

Een optimalisatie houdt in dat één of meerdere ontwerpparameters aangepast (vergroot of verkleind) worden, waarbij ernaar gestreefd wordt dat de impact van het uiteindelijke ontwerp beter is dan of minstens gelijkwaardig is aan dat van een ontwerp op basis van de startontwerpwaarden De parameters (aandeel infiltratie, totale afvoervolume, …) waarop geoptimaliseerd moet worden, zijn af te

[8] Gedetrende langjarige neerslagreeks (Ukkel) die werd geperturbeerd naar het huidige klimaat in de periode 1997-2016

spreken met de waterloopbeheerder. Het hydraulisch gedrag van een basisontwerp met de startontwerpwaarden geldt als referentie.

Er wordt ook een vergelijking gemaakt met het gedrag in de bestaande situatie om de impact van het project en de eventuele noodzaak tot afwijking van de bronmaatregelen te evalueren. Hierbij wordt in overleg met de advies- en vergunningverlenende instanties ook naar de kosteneffectiviteit gekeken.

Als de infiltratiecapaciteit kleiner is dan 5 mm/u, is het zelden zinvol om volledig in te zetten op infiltratie. Het is daarom een investering die verder geoptimaliseerd kan worden. In die gevallen is het sowieso aangewezen een deel van het volume in te zetten op vertraagde afvoer als de afwaterende oppervlakte groter is dan 1000 m².

3.7.4.1 Impact op het afwaartse systeem

In eerste instantie evalueren we de impact van de voorziene bronmaatregelen op het afwaartse systeem, hetzij een hemelwaterafvoerstelsel, hetzij het oppervlaktewater- of grondwatersysteem.

Voor de evaluatie van de impact op het afwaartse systeem evalueren we volgende parameters:

- **Aandeel geïnfiltreerd water:** Aangezien we maximaal willen inzetten op het gebruik van de natuurlijke sponswerking van de bodem is het aandeel water dat kan infiltreren een belangrijke maatgevende parameter.
  Het aandeel hemelwater dat geïnfiltreerd wordt, kan vergroot worden door het infiltratievolume en/of de infiltratieoppervlakte te vergroten.

Wanneer een infiltratievoorziening gecombineerd wordt met een buffervoorziening, kan het beschikbare infiltratievolume bijgestuurd worden door het vloeipeil van de doorvoer aan te passen. Het vloeipeil mag echter nooit gelijk gelegd worden aan het bodempeil van de infiltratievoorziening, gezien in die situatie het water preferentieel afgevoerd zal worden.

Totale afvoervolume naar het afwaartse systeem: De impact op het afwaartse watersysteem wordt daarnaast beschreven vanuit de totale piekafvoer. Deze totale afvoer is de som van de volumes die via de overstort/noodoverlaat (infiltratie- of buffervoorziening) en de doorvoerconstructie (buffervoorziening) met een bepaalde terugkeerperiode en over een bepaalde tijdspanne worden afgevoerd. De ontwerper dient met de beheerder van het ontvangende watersysteem (regenwater – of oppervlaktewater) af te stemmen met welke tijdspanne gerekend moet worden.

De piekafvoer wordt dan beschouwd over deze tijdspanne.

3.7.4.2 Hydraulische werking van de bronmaatregelen

Verder dient ook de hydraulische werking van de bronmaatregelen zelf geëvalueerd worden:

Vullingsgraad: wanneer uit de impactberekening blijkt dat het volume dat voorzien wordt, zelden (T > 20 jaar) volledig gevuld wordt, kan overwogen worden om het volume te verkleinen. In die gevallen is het wel aangewezen om de impact van de voorziening ook te onderzoeken met gewijzigde neerslagomstandigheden ten gevolge van klimaatverandering. Op die manier kan dan de eventuele risico's van de inperking van het volume beter ingeschat worden en kan – steeds in overleg met de watersysteembeheerder – een weloverwogen keuze gemaakt worden.
Als een infiltratievoorziening nooit helemaal leeg komt te staan, is het aangewezen om dit te combineren met een doorvoer. Het betekent immers dat je 'dode berging' hebt uitgebouwd, welke geen bijdrage heeft omdat ze steeds gevuld is. Langs de andere kant kan een beperkte hoeveelheid permanent water net voor de realisatie van groenblauwe infrastructuur en het koppelen van natuurwaardes wel een meerwaarde hebben. Ook naar waterbeleving toe, kan dit steeds een positieve impact hebben.

Multifunctioneel ruimtegebruik kan de ruimte beschikbaar voor water aanzienlijk vergroten. Er moet dan wel gewaakt worden over de ledigingsnelheid door bv. een deel van het bekken op vertraagde afvoer te ontwerpen.

Tenslotte dient voor elk systeem – ook wanneer de verharding afwatert naar een voldoende grote groenzone of waterdoorlatende verharding – nagegaan te worden in welke mate de voorziening het aangevoerde hemelwater kan opvangen. Bij extreme neerslagevents dient wateroverlast immers vermeden te worden. Daarom zal in situaties waar de doorlatendheid van de bodem een voldoende snelle infiltratie niet toelaat een noodoverloop voorzien dienen te worden. Op de afvoer van deze noodoverloop dienen geen bijkomende bronmaatregelen gebouwd te worden als aan de hierboven beschreven regels is voldaan.

3.7.4.3 Collectieve en integrale systemen

Niettegenstaande infiltratiesystemen en/of gebruik van hemelwater best zo dicht mogelijk bij de locatie waar het hemelwater valt, worden uitgebouwd, wordt zeer nadrukkelijk de mogelijkheid geboden op alle vlakken voor het hemelwaterbeheer om tot gezamenlijke oplossingen te komen. Op die manier kan de impact op de omgeving ook in functie van de (tijdelijke) lokale behoeften geoptimaliseerd worden. Optimale oplossingen kunnen groeien uit een samenwerking over de perceelsgrenzen heen of tussen publieke en private actoren.

De uitbouw van bronmaatregelen vraagt om een integrale aanpak, waarbij ook een samenwerking tussen de beheerder van het publiek domein, de rioolbeheerder en de waterloopbeheerder en andere stakeholders niet uit de weg gegaan mag worden. In dergelijke samenwerkingen ontstaan vaak koppelkansen wanneer gezocht wordt in de ruimere omgeving van een project. Collectieve bronmaatregelen kunnen dan vaak ook efficiënter beheerd worden (minder versnippering) en zijn vaak goedkoper dan individuele, kleinere voorzieningen. Een hemelwater- en droogteplan kan bijdragen om hier een goede visie rond uit te werken.

3.7.4.4 Klimaatadaptief ontwerpen

De infrastructuur die we nu ontwerpen, moet functioneren onder sterk veranderende omstandigheden. Omdat overgedimensioneerde en te dure investeringen niet wenselijk zijn, moet er ingezet worden op no-regret-maatregelen. De infrastructuur moet daarom aanpasbaar zijn aan de wijzigende omstandigheden. Dit kan door infrastructuur zo te ontwerpen dat ze desgevallend uitgebreid kan worden of door een aangepaste bedrijfsvoering te voorzien (bv. slimme sturingen).

3.7.4.5 Ecologische inrichting

Zoals hierboven (3.6.3.1) al gesteld werd, krijgen bovengrondse voorzieningen de voorkeur ten opzichte van ondergrondse constructies. Dit geldt ook voor buffervoorzieningen, die bovendien op een ecologische manier ingericht kunnen worden zodat ze een meerwaarde betekenen voor de omgeving en een boost kunnen geven aan biodiversiteit.

Bij een dergelijke ecologische inrichting dient o.a. aandacht te gaan naar de vorm (onregelmatige vorm, zwakke taluds) en oriëntatie van het bekken. Verder uitgewerkte richtlijnen hieromtrent zijn terug te vinden in de ontwerprichtlijn 'Ecologische bufferbekkens'.

3.8 Praktische aanpak van het ontwerpproces

3.8.1 Algemeen

Een optimaal ontwerp van infiltratievoorzieningen vereist een onderbouwde en gedragen toekomstvisie. Deze visie kan voortvloeien uit de hemelwater- en droogteplannen of andere visiedocumenten, waar ook de eventuele aanwezigheid en de functionaliteit van een fijnmazig grachtenstelsel kunnen worden aangetoond.

Omwille van de complexiteit van de interacties met het watersysteem spreekt het voor zich dat een ontwerp geen rechtlijnig proces volgt, maar het resultaat is van verschillende iteraties en noodzakelijk overleg met verschillende stakeholders, niet in het minst met de beheerder van het oppervlaktewatersysteem.

In Figuur 25 wordt een algemeen stappenplan weergegeven dat bij het ontwerp van bronmaatregelen gevolgd kan worden.

3.8.1.1 Verzamelen basisinformatie over het ontvangend afwateringssysteem

In een eerste stap dient de nodige basisinformatie over het ontvangend afwateringssysteem verzameld te worden. Deze basisinformatie omvat enerzijds kennis over de overstromingsgevoeligheid van de betrokken hemelwaterstrengen en waterlopen, welke factor deze overstromingsgevoeligheid bepaalt (debiet versus volume), … en anderzijds de hydraulische randvoorwaarden waarmee bij het ontwerp rekening gehouden moet worden (vb. de waterpeilen in de ontvangende waterloop en hoe zij variëren).

Het is aangewezen dat de basisinformatie voldoende gekaderd wordt. Het is immers onvoldoende om te weten of een waterloop overstromingsgevoelig is of niet, maar zeker ook nuttig om te weten waar de problemen zich specifiek situeren en in welke omstandigheden deze zich voordoen. Het waterpeil op de waterloop kan van belang zijn voor de goede werking van de te ontwerpen lozing en overlaat vanuit de bronmaatregel naar de waterloop. Om een weloverwogen en gepaste randvoorwaarde te kunnen kiezen voor het ontwerp is dan ook een inschatting nodig van de terugkeerperiode, duur en omstandigheden waarin bepaalde waterpeilen zich kunnen voordoen op de waterloop. Deze informatie kan gevonden worden op waterinfo.be of kan bij de waterloopbeheerder opgevraagd worden.

Op dit moment is het ook aangewezen om informatie in te winnen over de bodemeigenschappen (bodemtype, infiltratiecapaciteit, …) en grondwatertafel.

3.8.1.2 Inventaris afwaterende oppervlaktes

Om tot een goed ontwerp te komen is het noodzakelijk dat er een volledige en gedetailleerde inventaris wordt gemaakt van de oppervlakten (wegenis/openbaar domein, private percelen en onverharde oppervlakten) die afwateren naar het project, zowel binnen de projectzone als opwaarts de projectzone. Een deel van het weg- en rioleringsontwerp bestaat erin na te gaan in welke mate deze bestaande oppervlakken noodzakelijk zijn en eventueel doorlatend kunnen uitgevoerd worden.

De inventaris vermeldt naast de oppervlakken die in rekening gebracht worden bij de dimensionering van de diverse bronmaatregelen ook

- De oppervlakten die afstroom genereren naar de ontworpen bronmaatregel, maar niet in rekening gebracht worden bij de dimensionering, alsook de reden waarom deze oppervlakten niet ingerekend worden in de dimensionering van de bronmaatregelen (gelegen opwaarts projectzone, doorlatende verhardingen)
- De oppervlakten gelegen in de projectzone die nooit zullen afwateren naar het project
- Aanwezige overstorten die aangesloten worden op het hemelwaterstelsel van het project.

3.8.1.3 Basisconcept en -ontwerp

Op basis van de hogervermelde visie (zie 3.3) en basiswaarden (zie 3.6.2.2 of 3.6.3.2) dient een eerste ontwerp uitgewerkt te worden waarbij de frequentieverdeling van het piekdebiet, het volume over de noodoverlaat en het totaal afgevoerde volume naar de waterloop of het rioleringsstelsel op basis van een langjarige neerslagreeks in kaart worden gebracht.

Hiervoor zijn conceptuele bakkenmodellen die doorgerekend zijn met een lange tijdreeks (vb. Sirio®) aangewezen. Enkel bij infiltratievoorzieningen met een korte ledigingstijd (< 24 uur) kan de berekening ook uitgevoerd worden met een hydrodynamisch model aan de hand van composietbuien, dit is echter zeer uitzonderlijk.

Deze informatie is, naast een beeld van de debieten die vandaag in het afwaarts watersysteem terecht komen via de projectzone, van belang om de impact op het afwaarts stelsel, inclusief het oppervlaktewatersysteem te kunnen inschatten.

Uiteraard heeft het geen zin volumes uit te bouwen die nooit zullen benut worden. Als blijkt dat de noodoverlaat van de voorziening nooit in werking treedt kan het basisvolume in overleg met de waterloopbeheerder of rioolbeheerder gereduceerd worden. Indien deze situatie zich voordoet, wordt best ook een evaluatie gemaakt met toekomstige klimaatscenario's.

3.8.1.4 Overleg met de beheerder(s) van het afwaarts watersysteem

Het spreekt voor zich dat de keuze voor het uiteindelijke ontwerp functie is van de waterloop/riool naar waar het project afwatert, zonder uit het oog te verliezen dat meer afwaartse waterlopen ook worden beïnvloed door de afvoer die wordt gecreëerd. Een definitieve scenariokeuze dient dus in overleg met de waterloopbeheerder of de rioolbeheerder te gebeuren.

Het overleg moet resulteren in een principieel akkoord over het voorgestelde ontwerp of een duidelijk zicht op de punten waar het ontwerp moet bijgestuurd worden.

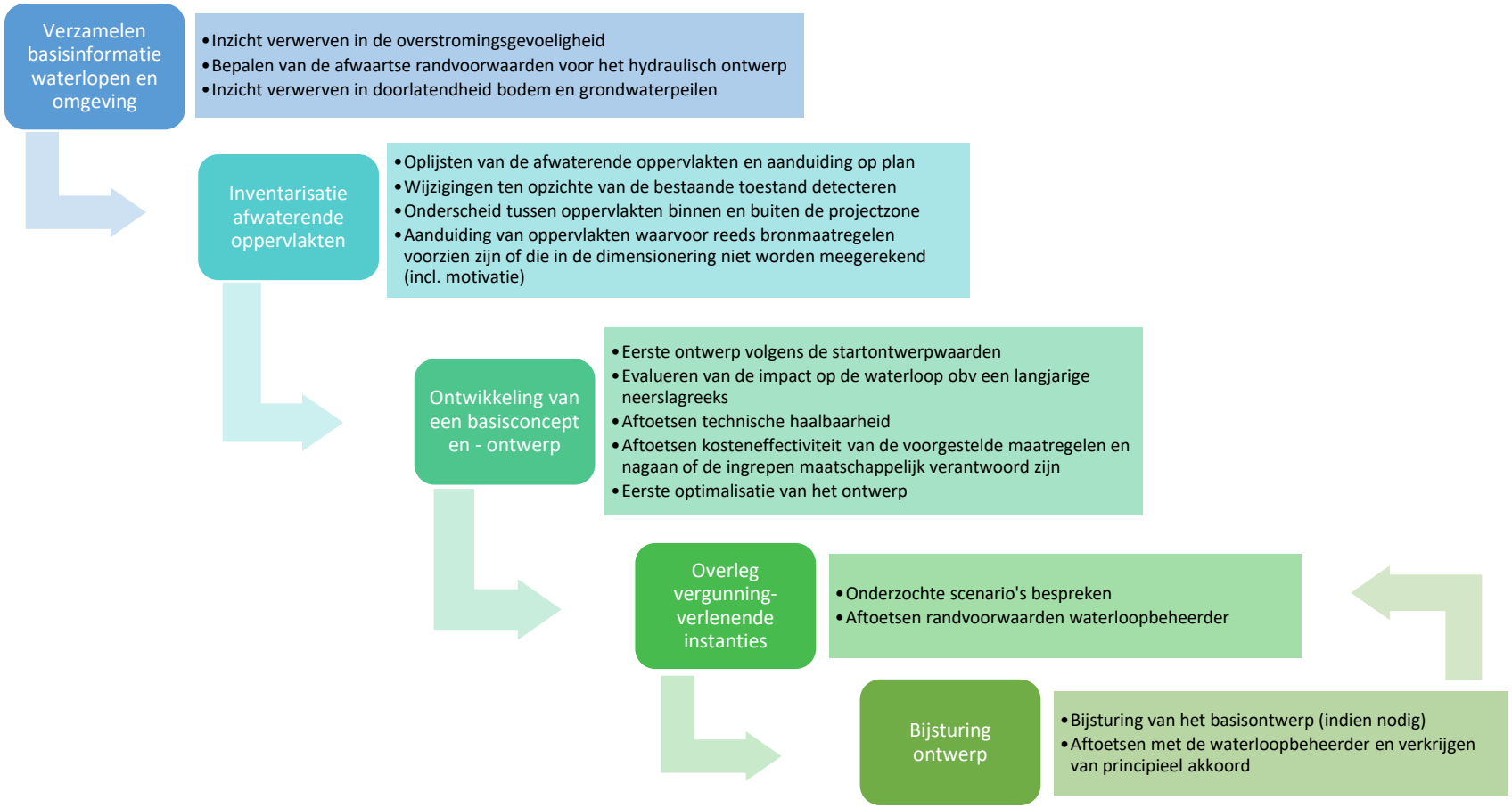
De beschrijving van de bestaande toestand, de impact van een basisontwerp en eventuele ontwerpvoorstellen zijn cruciaal voor de slaagkans van dit overleg. Daarnaast kan de robuustheid van het ontwerp ook onderworpen worden aan een sensitiviteitsanalyse

- m.b.t. de infiltratiecapaciteit van de bodem.
- de invloed van klimaatverandering kan in deze context worden nagegaan

Het kan aangewezen zijn ook andere relevante (advies- en vergunningverlenende) instanties bij dit overleg te betrekken, om tot een voldoende draagvlak te komen over het (voor)ontwerp. Bovendien strekt het tot aanbeveling om in het verslag van dit overleg duidelijk aan te geven naar welke parameters werd geoptimaliseerd en waarom deze voor het huidig ontvangend waterstelsel belangrijk zijn. Deze info is van belang bij eventueel latere optimalisatie van de bedrijfsvoering.

3.8.1.5 Desgevallend bijsturen van het (basis)ontwerp

Desgevallend dient het ontwerp bijgestuurd te worden aan de afspraken die met de waterloopbeheerder en andere stakeholders werden gemaakt. In deze stap kan ook nog een principieel akkoord van de verschillende stakeholders gevraagd worden over het uiteindelijke (voor)ontwerp.



Figuur 25: Stappenplan om te komen tot een goed ontwerp van bronmaatregelen

3.9 Aandachtspunten bij ontwerp, aanleg en onderhoud

Op de infiltratievoorziening mag in principe geen (overstortend) afvalwater worden aangesloten (zie 3.6) omwille van het risico op vervuiling van het grondwater en verminderd infiltratievermogen door het dichtslibben van het infiltratieoppervlak. Wanneer er overstortwater op een infiltratievoorziening wordt aangesloten, dient een risicoanalyse uitgevoerd te worden die de impact op de werking van de voorziening, maar ook de risico's voor de omgeving in kaart brengt.

Bij bodemverontreiniging dient bekeken te worden of infiltratie toegelaten kan worden. Indien dit niet kan dient men in eerste instantie op zoek te gaan naar alternatieve locaties voor de infiltratievoorziening.

Ook water dat hoge concentraties aan sedimenten bevat (in erosiegevoelige gebieden, water afkomstig uit waterlopen, …), wordt om die laatste reden best niet rechtstreeks opgevangen in een infiltratievoorziening. In gebieden waar erosie optreedt moeten in eerste instantie maatregelen genomen worden om de erosie tegen te gaan. Problemen kunnen vermeden of beperkt worden door in te zetten op bovengrondse infiltratievoorzieningen, waar het onderhoud eenvoudiger is. Verder kan voorbehandeling of voorfiltering van met sediment beladen hemelwater nog vermijden dat de infiltratievoorzieningen dichtslibben. Ook strekt het tot aanbeveling om bij de aanleg van de infiltratievoorziening en bij werken in de omgeving van de voorziening maatregelen te nemen om afstroom van sediment en fijne of organische deeltjes naar deze voorzieningen te vermijden en/of te beperken.

In regio's waar hoge risico's zijn op grondverschuivingen[9], vaak in hellende gebieden waar de bodem minder doorlatend is, houdt men ook best rekening met dat risico. Door water in de bodem te brengen verlaag je de korrelweerstand en neemt het risico op grondverschuivingen toe.

Bij de plaatsing van infiltratie- of buffervoorzieningen langs poldergrachten, onbevaarbare of bevaarbare waterlopen dient rekening gehouden te worden met de wettelijke bepalingen over recht van doorgang en recht van deponie. De plaatsing is eveneens verboden in een zone van 5 m langs de kruin van een geklasseerde onbevaarbare en 10 m langs de kruin van een bevaarbare waterloop.

Bij de aanleg van infiltratievoorzieningen dient men te vermijden dat de bodem verdicht wordt, waardoor de infiltratiecapaciteit afneemt. Het is niet aangeraden, dat op de locaties waar infiltratievoorzieningen worden aangelegd met zware machines gewerkt wordt, dit hypothekeert de latere infiltratiecapaciteit. Eveneens worden deze locaties best niet gebruikt om materiaal te stockeren. Desgevallend dienen technieken ingezet te worden om de verdichting van de bodem en een verlaagde infiltratiecapaciteit te remediëren.

Ook bij het inzetten van de infiltratievoorziening als locatie voor 'retourbemaling' kan de infiltratiecapaciteit significant dalen. Als tijdens de aanleg wordt vastgesteld dat de infiltratiecapaciteit sterk is afgenomen, dient de doorlatendheid van de bodem hersteld te worden.

Om te vermijden dat een infiltratievoorziening in periodes met hoge grondwaterstanden drainerend werkt, moet een eventuele overloop zich op een peil bevinden dat boven de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) gelegen is. In gebieden met een zeer hoge grondwatertafel kan eventueel gewerkt worden met een elleboog en een opstaande buis om te vermijden dat de afvoerleiding van de overloop te dicht onder het maaiveldpeil moet worden aangelegd. Ook het gebruik van kolken als overloopvoorziening kan in deze gevallen een oplossing bieden.

[9] zie ook Gevoeligheid voor grondverschuivingen | Vlaanderen.be en Gekarteerde grondverschuivingen | Vlaanderen.be

Men dient tenslotte aandachtig te zijn bij het aanleggen van infiltratievoorzieningen in zones waar nutsleidingen aanwezig zijn. Bij werken aan de nutsleidingen bestaat immers het gevaar dat de bodem verdicht wordt, waardoor de werking van de infiltratievoorzieningen verloren gaat. Indien mogelijk worden er binnen het openbaar domein duidelijke zones voorzien waar de nutsleidingen aangelegd mogen worden en die niet interfereren met de infiltratievoorzieningen of worden de nutsmaatschappijen voldoende ingelicht over de aanwezigheid van infiltratievoorzieningen.

3.10 Bepaling van de bodemgesteldheid

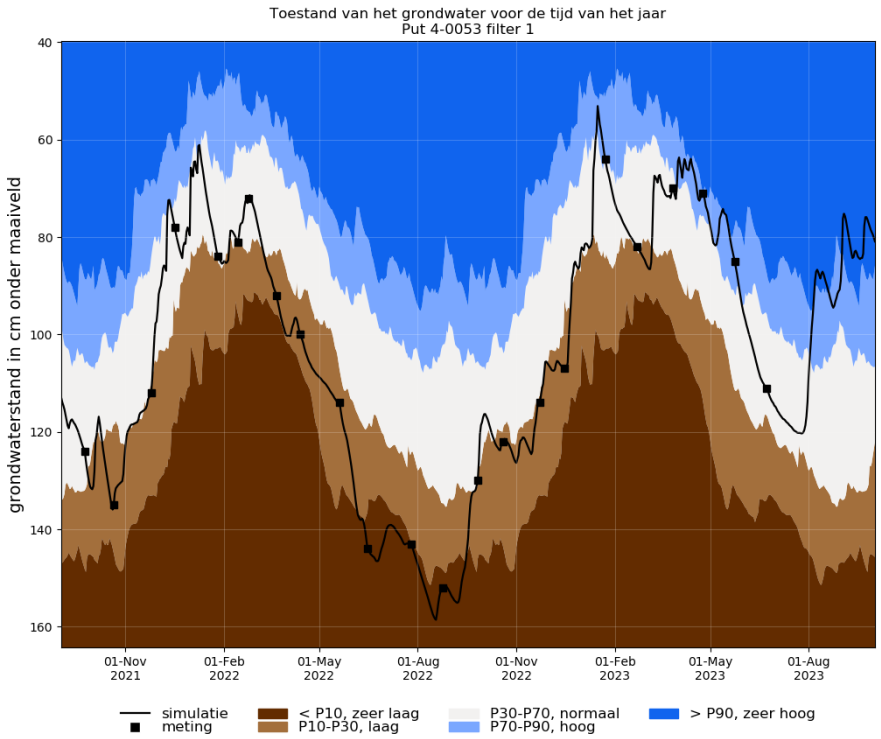
Hoger beschreven bronmaatregelen hebben tot doel de sponswerking van de bodem te vrijwaren of te herstellen. Hierbij wordt sterk ingezet op vermijden van afstroom en op infiltratie. Om te vermijden dat deze bronmaatregelen hun doel voorbijschieten en sponswerking teniet doen is een goede kennis van het grondwaterpeil noodzakelijk bij het ontwerp en het latere beheer ervan. Naast het grondwaterpeil is ook de infiltratiecapaciteit bepalend voor het ontwerp van een bronmaatregel.

Gelet op de variabiliteit van de ondergrond is het noodzakelijk de bodemgesteldheid in de onmiddellijke omgeving van het project te kennen (max. afstand). Zowel het grondwaterpeil als de infiltratiecapaciteit worden minstens op 3 locaties bepaald binnen de projectomgeving

3.10.1 Bepaling van het grondwaterpeil

Het grondwaterpeil fluctueert doorheen het jaar. Gewoonlijk wordt het hoogste peil bereikt eind maart en het laagste eind september. Daarnaast variëren ook deze hoogste en laagste peilen van jaar tot jaar. Het waterpeil dat bijvoorbeeld eind maart bereikt wordt, is afhankelijk van de weercondities in de periode die eraan vooraf gaat en die zijn elk jaar anders. Gelet op het belang van deze parameter bij het ontwerpen van bronmaatregelen zijn grondwaterpeilmetingen een noodzaak. Door het uitvoeren van langdurige metingen kan men de onzekerheid op deze waarden sterk beperken.

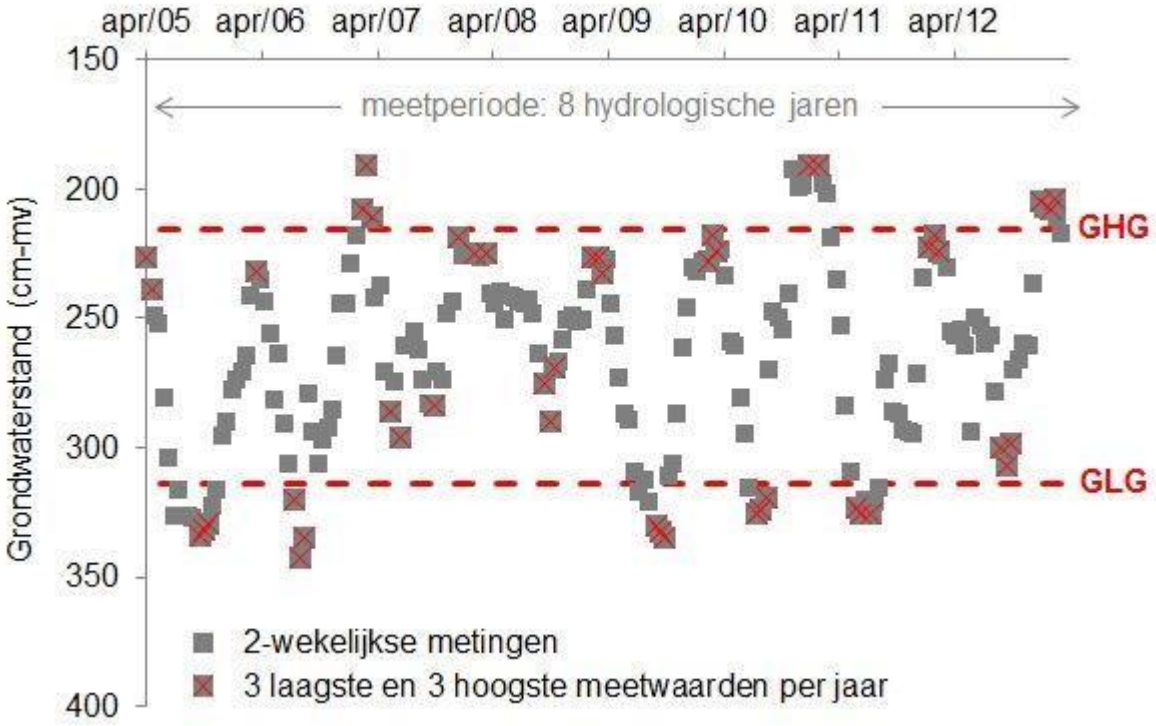
De freatische grondwaterstandsindicator op de website van DOV (www.dov.vlaanderen.be) beschrijft die peilschommelingen. De indicator geeft (aan de hand van een percentielwaarde) voor iedere dag weer of het grondwaterpeil op die dag zeer hoog, hoog, normaal, laag of zeer laag was. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de toestand voor de tijd van het jaar (relatieve indicator) en de toestand in absolute zin, dat wil zeggen, vergeleken met de peilvariatie die de voorbije 30 jaar heeft plaatsgevonden.



Figuur 26: Voorbeeld van de freatische grondwaterstandsindicator (bron: DOV verkenner)

De gemiddelde seizoensfluctuatie van het grondwaterpeil is te karakteriseren met twee variabelen: de gemiddelde hoogste en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GHG en GLG), uitgedrukt in meter onder maaiveld (m-mv).

Deze twee variabelen werden geïntroduceerd door van Heesen (1970)[10], die voorstelde om de GHG en GLG te berekenen als het gemiddelde van de drie hoogste/laagste peilen per jaar van minimaal acht jaren, waarbij de grondwaterstand tweemaal per maand gemeten wordt (op of omstreeks de 14de en 28ste dag) (Figuur 27). Met 'jaren' worden hier geen kalenderjaren maar wel hydrologische jaren bedoeld, die beginnen op 1 april en eindigen op 31 maart. Indien onvoldoende meetgegevens beschikbaar zijn, kan de meetreeks aangevuld worden met behulp van meteorologische data en een tijdreeksmodel. De definitie van de GLG en GHG die hierboven is vermeld, is opgesteld in een periode dat peilmetingen doorgaans manueel (en dus met relatief lage frequentie) werden uitgevoerd en tijdreeksmodellen schaars waren. Vandaag zijn er vaak hoogfrequente peilreeksen beschikbaar, met tijdstappen van een dag of kleiner. In dat geval kunnen de GLG en GHG goed benaderd worden door respectievelijk het 10de en 90ste percentiel te nemen van de tijdreeks. De gemiddelde grondwaterstand wordt gedefinieerd als de 50-percentiel waarde.



Figuur 27: De gemiddeld hoogste en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GHG en GLG) uitgedrukt in centimeter onder maaiveld (cm-mv).

GHG en GLG zijn maar betekenisvol wanneer seizoensfluctuaties terug te vinden zijn in de tijdsreeks van grondwaterpeilen. Dat is niet altijd het geval.

De GHG, GLG en het gemiddelde grondwaterpeil verschillen sterk van plaats tot plaats omdat ze beïnvloed worden door lokale condities zoals de aanwezigheid van (buis)drainage, grondwaterwinningen, al dan niet opgestuwde waterlopen en grachten, enz.

Gedetailleerde gebiedsdekkende informatie is niet beschikbaar voor al deze fenomenen. Er bestaat dan ook geen betrouwbare gebiedsdekkende datalaag van (gemiddelde) grondwaterstanden in Vlaanderen.

[10] Van Heesen, H.C., 1970. Presentation of the seasonal fluctuation of the water table on soil maps. Geoderma 4, 257-278

Voor het bepalen van de grondwaterstand op een willekeurige locatie zijn er verschillende methodes beschikbaar. Een eerste grove indicatie is mogelijk aan de hand van de bodemkaart. Voor een meer correcte inschatting van de grondwaterstand kan men gebruik maken van de volgende methodes:

- Peilmetingen
- Grondwaterstandsindicator
- Statistische methode

Ook in boor- en sondeerrapporten wordt soms de grondwaterstand vermeld. Die vind je vb. door de lagen met boringen en sonderingen aan te zetten in de DOV-verkenner. De grondwaterstand die hier vermeld staat, is echter niet betrouwbaar. Doorgaans gaat het slechts om één enkele waarneming, op het moment van de boring, terwijl de grondwaterstand aanzienlijk kan schommelen doorheen het jaar (tot meerdere meters) en de grondwaterstand tijdens de boring ook niet in evenwicht is. Grondwaterstanden uit boor- en sondeerrapporten zijn dus slechts indicatief en moeten altijd met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. Voor de concrete uitwerking van infiltratievoorzieningen zijn dan ook meer betrouwbare gegevens nodig (zoals beschreven in de volgende paragrafen).

3.10.1.1 Bepaling van de grondwaterstand aan de hand van peilmetingen

Grondwaterpeilingen die overheden uitvoeren zijn voor iedereen beschikbaar op DOV (www.dov.vlaanderen.be). Je kan DOV-meetpunten in de omgeving selecteren en op basis daarvan een inschatting maken van de grondwaterstand op de plaats die je wil onderzoeken.

Waterlopen, bronnen, vijvers en moerasgebieden kunnen eveneens een indicatie geven van de grondwaterstand in hun directe omgeving, voor zover deze oppervlaktewaters niet afgesloten zijn van het grondwater (folie, beton…). Voor sommige waterlopen zijn er peilmetingen beschikbaar op www.waterinfo.be.

De eenvoudigste manier voor de bepaling van de grondwaterstand op de gewenste locatie is het gemiddelde te nemen van de peilen op de gekozen bemeten locaties; nauwkeuriger is echter te werken via interpolatie (zie verder in voorbeeld).

De grondwaterstand wordt in de rapporten op DOV op twee manieren uitgedrukt:

- het peil H (mTAW - Tweede Algemene Waterpassing) dat de hoogte van het grondwater weergeeft ten opzichte van het zeeniveau.
- de diepte h (m-mv), dit is de diepte van het grondwater, ter plaatse gemeten ten opzichte van het lokale maaiveldpeil Z (mTAW) (rand van de peilbuis of koker). (h = Z – H)

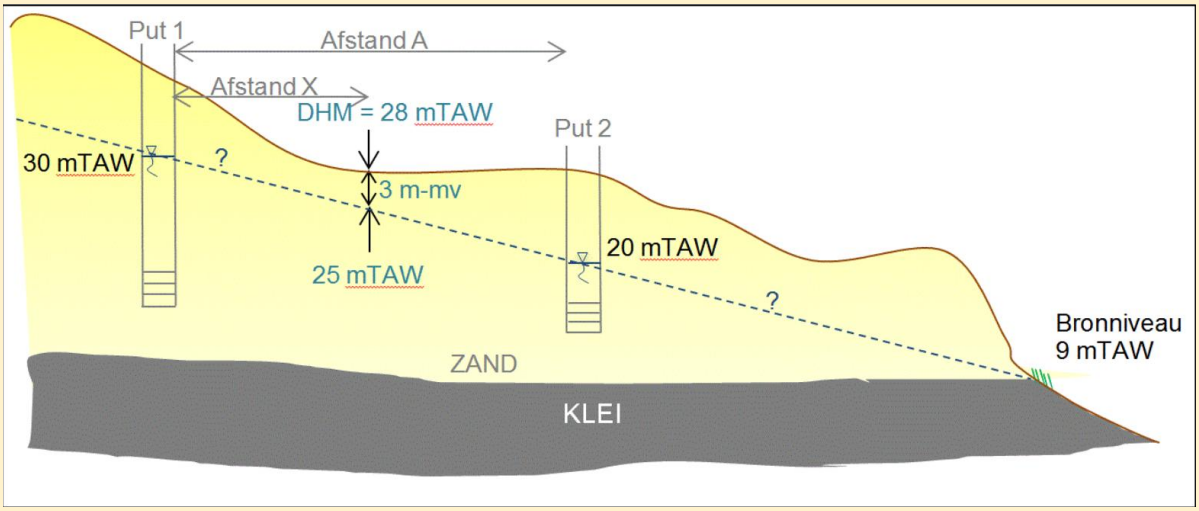
Deze laatste waarde is niet geschikt voor interpolatie omdat de meting sterk afhankelijk is van het (lokale) reliëf en de hoogte van de buis ten opzichte van het maaiveld.

Bij de keuze van de (referentie)meetpunten dient te worden gelet op volgende zaken:

- Meetpunten hebben soms meerdere meetfilters op verschillende dieptes. Neem steeds de data die horen bij de meest ondiepe filter en beperk de selectie sowieso tot de freatische filters
- Kies bij voorkeur een meetpunt op een gelijkaardige landschappelijke positie. Bijvoorbeeld: om de grondwaterstand in een vallei in te schatten gebruik je best een peilput die eveneens binnen de vallei ligt. De bodemkaart is hier een handig hulpmiddel: kies een meetpunt met hetzelfde bodemtype als de plaats die je wil onderzoeken.

VOORBEELD (ZIE OOK FIGUUR 28)

Gegeven 2 gekende peilmetingen (Put1 en Put2) in de omgeving van de locatie 'X', waarvoor de grondwaterstand moet bepaald worden. De (absolute) grondwaterstanden in deze putten (H1 en H2) bedragen respectievelijk 30 en 20 m TAW.



Figuur 28: Voorbeeld van interpolatie van stijghoogte. Op de locatie die exact in het midden tussen Put 1 en Put 2 gelegen is, is de geïnterpoleerde stijghoogte net het gemiddelde van beide stijghoogtes

Het absolute grondwaterpeil (Hx) op locatie 'X' is dan door lineaire interpolatie te berekenen als

$$H_X = H_1 + \frac{H_2 - H_1}{A} \cdot X$$

Met A de afstand tussen de putten 1 en 2, en X de afstand tussen put 1 en locatie 'X'.

Wanneer locatie 'X' zich precies halverwege putten 1 en 2 bevindt, zal de geïnterpoleerde waarde dus 25 m TAW bedragen. In dat geval zou het gemiddelde van de 2 gekende peilen hetzelfde resultaat hebben opgeleverd als interpolatie; de kans dat dit zich echter voordoet, is relatief klein. Wanneer je vervolgens (bijv. via DHM) het maaiveldpeil op locatie 'X' bepaalt (bijv. 28 m TAW) kan je de relatieve grondwaterstand op deze locatie bepalen, nl. 3 m-mv.

Opmerking: indien er meer dan 2 gekende punten zijn op vergelijkbare afstand, kan een interpolatie op elke combinatie van 2 punten uitgevoerd worden om de sensitiviteit van de gebruikte referentie-locaties na te gaan. Indien dan zou blijken dat de bekomen interpolaties onderling sterk afwijken, moet worden nagegaan welke gekende punten meest representatief zijn voor de te bepalen grond-waterstand. Indien er geen evidente reden is om één van de gekende punten uit te sluiten, kan als finale waarde het gemiddelde van de verschillende interpolaties worden genomen.

3.10.1.2 Bepaling van de grondwaterstand aan de hand van de grondwaterstandsindicator

De methode, zoals beschreven in 3.10.1.1, laat slechts toe om een ogenblikkelijke grondwaterstand op een gekozen locatie te bepalen. Voor een correcte dimensionering van bronmaatregelen is het echter wenselijk om een idee te hebben van de mogelijke fluctuaties van het grondwaterpeil op die locatie.

Om de gemiddelde grondwaterstand, de GHG en de GLG op de gekozen locatie in te schatten, is nor-maal een lange tijdsreeks nodig. Volgens de oorspronkelijke definitie van GHG en GLG is er nood aan 2-wekelijkse metingen over een periode van 8 jaar. Statistische analyses tonen aan dat zelfs bij gebruik van een 8-jarige reeks de GHG en GLG fout ingeschat kunnen worden ten opzichte van de waarden die men zou verkrijgen met langere meetreeksen (bv. dagelijkse metingen voor een periode van 30 jaar), met afwijkingen tot enkele tientallen cm.

In het kader van het ontwerp is het onmogelijk om zo lang te meten (soms zijn er slechts 1 of 2 meetwaarden beschikbaar), kan men gebruik maken van de **grondwaterstandsindicator** (beschikbaar op DOV - www.dov.vlaanderen.be) om voor de gekozen locatie toch een idee te krijgen van de lange-termijn fluctuatie van de grondwaterstand op die meetplaats.

Merk op dat deze methode ook kan worden toegepast op locaties waar de grondwaterstand niet rechtstreeks werd gemeten, maar berekend door interpolatie (zie 3.10.1.1).

De grondwaterstandsindicator voor een bepaalde meting op een bepaalde locatie geeft op basis van een percentielwaarde (p) weer of die meting gebeurd is in een periode die relatief nat, relatief droog of eerder normaal was. Zo weet je of de gemeten grondwaterstand eerder met de gemiddelde (p50) of met een meer extreme situatie (GHG of GLG, respectievelijk p10 en p90) overeenstemt. Wanneer men ervan uit gaat dat naburige locaties op eenzelfde moment zich in een gelijkaardige situatie m.b.t. de grondwaterstand bevinden, en dus eenzelfde ogenblikkelijke grondwaterstandsindicator vertonen, kan men voor een gekozen locatie een enkele meetwaarde extrapoleren naar GHG en GLG.

Om de GHG en GLG te berekenen uit een bekende indicatorwaarde, gaat men uit van een normaalverdeling van de grondwaterpeilen. Om deze te kunnen fitten, zijn in principe minstens 2 peilwaarden met hun overeenkomstige indicatorwaarde vereist.

- Indien slechts één dataset beschikbaar is, kan men als alternatief een aanname doen over het verschil in peil tussen GHG en GLG (vermits deze gelijk zijn aan p10 resp. p90). Aangezien op de meeste plaatsen met ondiepe grondwaterstanden het peil op jaarbasis schommelt met 1 à 2 m, kan men als eerste aanname voor het verschil tussen GHG en GLG bijv. 1.5 m nemen.
- Indien men meerdere datasets ter beschikking heeft, kan men alle data gelijktijdig fitten aan een normaalverdeling, of kan men de hierboven beschreven “eenvoudige” benadering herhaaldelijk toepassen en een gemiddelde nemen van het resultaat.

Voor beide benaderingen dient men te beschikken over statistische software.

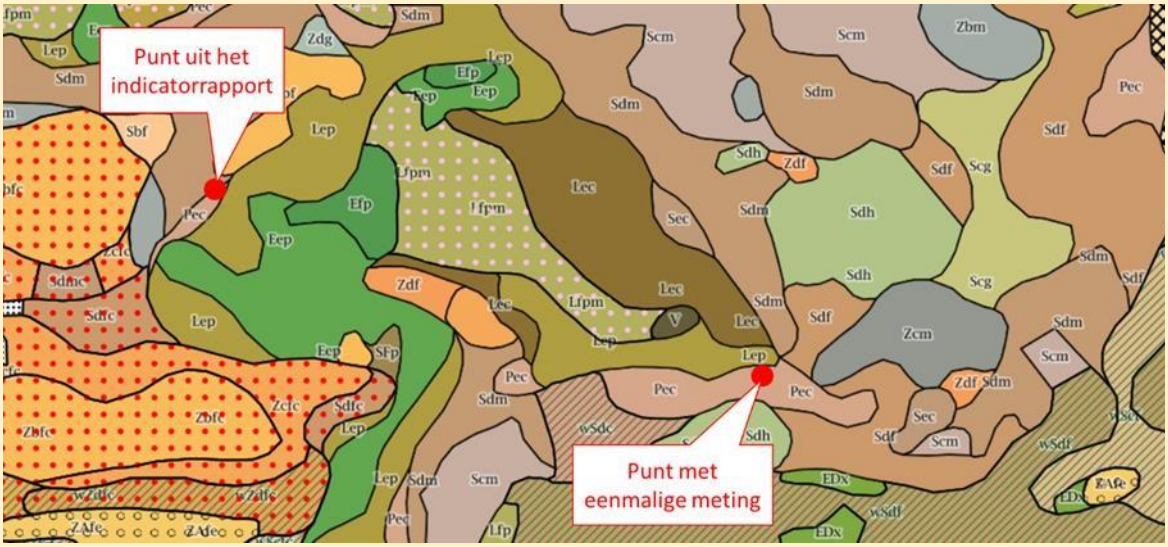
VOORBEELD (ZIE OOK FIGUUR 29)

In dit voorbeeld beschikt men slechts over 1 grondwaterstandsmeting op de plaats waar men het gemiddeld grondwaterregime wil weten. Op 9/6/2015 is daar een grondwaterstand van -189 cm-mv vastgesteld. In DOV kan het dichtstbij gelegen punt uit de grondwaterstandsindicator worden opgezocht. Het is van belang dat de afstand van het indicatorpunt tot het meetpunt waarvan we het lange-termijn gemiddelde moet worden bepaald zo klein mogelijk is, zodat kan worden verondersteld dat er op beide punten ongeveer dezelfde hoeveelheid neerslag is gevallen. In het voorbeeld bedraagt deze afstand 2.7 km. Het indicatorpunt bevindt zich, bij voorkeur, bovendien in een min of meer gelijkaardige landschappelijke positie: een droge zandgrond.

In DOV kan de absolute grondwaterindicator ter hoogte van het indicatorpunt worden opgezocht op de dag dat de meting is uitgevoerd, door op het indicatorpunt te klikken en de achterliggende datasheet op te vragen. Het is van belang om de absolute indicator te gebruiken (en niet de relatieve): men wil immers de toestand op de dag van de meting ten opzichte van de hele meetreeks weten (en niet de toestand voor de tijd van het jaar). Op 9/6/2015 bedroeg de absolute indicator ter hoogte van het dichtstbij gelegen indicatorpunt 0.46. Dat wil zeggen dat de meting die werd uitgevoerd op die dag representatief was voor de gemiddelde grondwaterstand.

Met p46 = 1.89 m-mv en de aanname van p10-p90 = 1.5 m, levert dit de volgende waarden op :

GLG (p90) = -2.6 m-mv
GHG (p10) = -1.1 m-mv



Figuur 29: Ligging van een punt met eenmalige meting, waar men het lange-termijn gemiddelde grondwaterregime wil kennen, en het dichtstbij een min of meer gelijkaardig landschappelijk gelegen punt uit de indicatordataset op de Bodemkaart van België.

Indien er op de te onderzoeken locatie meerdere metingen beschikbaar zijn, kan voorgaande methode meermaals toegepast worden en kan bijvoorbeeld het gemiddelde van de bekomen resultaten weerhouden worden. Het is ook mogelijk om de methode voor eenzelfde meting meermaals toe te passen, gebruik makend van verschillende indicatorpunten. Ook dan kan men het gemiddelde van de resultaten die verkregen worden met de verschillende indicatorpunten als eindresultaat weerhouden.

Er is nog een andere (meer complexe) manier om meerdere metingen te gebruiken, die als voordeel heeft dat er geen veronderstellingen gemaakt moeten worden rond de te verwachten peilschommelingen. Er kan namelijk vanuit gegaan worden dat grondwaterstanden normaal verdeeld zijn. Voor de data waarop er meetwaarden zijn, moeten de absolute percentielen opgezocht worden van de indicatorpunten in de buurt. Op deze manier heb je dan 2 of meer datakoppels (absolute percentielen en meetwaarden). Hierop is het mogelijk een verband te fitten, uitgaand van een normaalverdeling van de grondwaterstanden. Eens deze verdeling beschikbaar is, is het mogelijk de GHG en GLG in te schatten (P90 en P10), de peilvariatie (P90—P10), de gemiddelde grondwaterstand (P50), enz… .

3.10.1.3 Bepaling van de grondwaterstand aan de hand van een geavanceerde statistische methode

Hieronder volgt een beschrijving van een alternatieve methode om het lange-termijn gemiddeld grondwaterregime op een plaats met een beperkte meetreeks van grondwaterstanden te karakteriseren. De precieze hoeveelheid beschikbare metingen speelt weinig rol, het uitgangspunt is dat de beschikbare meetfrequentie en -periode niet volstaan om het lange-termijn gemiddelde alleen op basis van metingen te berekenen (daarvoor is typisch 8 jaar met 2-wekelijkse metingen nodig). De methode is vooral nuttig als er meerdere metingen zijn, bij 1 of enkele metingen kan beter de methode beschreven onder 3.10.1.2 toegepast worden.

De methode bestaat uit volgende stappen:

- Zoek een aantal (bv. 3 à 5) referentiemeetpunten in de buurt van het te onderzoeken meetpunt: referentiepunten zijn meetpunten met lange (minstens 8 jaar) tijdsreeksen van gemeten grondwaterstanden met voldoende hoge frequentie (minstens maandelijks). Hiervoor kunnen ook de punten uit de grondwaterstandsindicator gebruikt worden.
- Normaliseer de peilmetingen op die referentiemeetpunten op basis van hun gemiddelde waarde en standaarddeviatie.

- Bereken het zwevend gemiddelde van de genormaliseerde referentiemeetreeksen (bijv. op basis van een venster van 2 opeenvolgende metingen)
- Er wordt nu verondersteld dat (1) het zwevende gemiddelde van de genormaliseerde referentiepeilen ook van toepassing is op de te onderzoeken locatie en (2) het genormaliseerd peil voor tijdstippen waarop geen enkele meting beschikbaar is 'af te lezen' is uit de grafiek van het zwevend gemiddelde (dus dat het genormaliseerd peil tussen twee bemeten tijdsstippen een lineair verloop kent[11]).
- Door de beschikbare meetwaarden op de te onderzoeken locatie te linken aan de genormaliseerde waarden, afkomstig van de referentiemetingen, kan een standaarddeviatie en gemiddelde waarde van de grondwaterstanden op de te onderzoeken locatie gefit worden (bijv. door kleinstekwadratenmethode). Hieruit kunnen dan tenslotte de GHG en de GLG berekend worden.

Een randvoorwaarde bij het toepassen van de voorgestelde methode is dat de metingen uit de referentiedataset goed gespreid zijn in de tijd (zowel beschikbaar in droge als natte periodes, verschillende seizoenen …) , zodanig dat er niet te veel tijd zit tussen een meting op de onderzoekslocatie en een meting uit de referentiedataset. Concreet zou er op de referentiepunten minstens 1 meting per maand beschikbaar moeten zijn. De meeste meetpunten uit het freatisch meetnet van VMM zijn daardoor niet bruikbaar, net omdat ze te weinig frequent worden uitgevoerd, en omdat putten in dezelfde regio doorgaans op dezelfde dag of periode worden bemeten. Freatische meetputten van het primair meetnet zijn wel bruikbaar, maar relatief schaars.

PRAKTISCHE UITWERKING

- Gegeven meetwaarden op de te onderzoeken locatie x: (Hx1, Hx2, …, Hxn) op (Tx1, Tx2, …, Txn) en
- referentiemeetwaarden (voor de eenvoud wordt hier slechts 1 referentiemeetreeks 'y' beschouwd) : (Hy1, Hy2, … , Hyn) op (Ty1, Ty2, …, Tyn)
- Bereken de genormaliseerde referentiepeilen (Ny1, Ny2, …, Nyn) volgens $N_{yi} = \frac{H_{yi} - \overline{H_y}}{\sigma_{H_y}}$ (1)

  Waarbij $\overline{H_y}$ en σ_{Hy} respectievelijk de gemiddelde waarde en de standaarddeviatie van de referentiepeilen H_{yi} zijn.

- Bereken het zwevend gemiddelde van de genormaliseerde referentiepeilen:

  $$M_{yi} = \frac{1}{p} \cdot \sum_{b=i-p+1}^{i} N_{yi}$$

  met Myi het zwevend gemiddelde in meting nummer1 i, p de periode (aantal punten dat beschouwd wordt voor het berekenen van het gemiddelde, hier: 2), N het genormaliseerd peil
- Voor alle tijdstippen Txj van de beschikbare meetwaarden op de te onderzoeken locatie wordt nu een Mxj berekend door lineaire interpolatie van de zonet bekomen referentiewaarden Myi.
- Vervolgens kan – in de veronderstelling dat men de standaarddeviatie en de gemiddelde waarden van de peilen Hx zou kennen- voor diezelfde tijdstippen Txj een voorspelde absolute peilwaarde H*xj berekend worden door gebruik te maken van de inverse van formule (1):

  $H^*_{xj} = \overline{H_x} + \sigma_{Hx} \cdot M_{xj}$

- Door fitting van de waarden H*xj aan de werkelijke meetwaarden Hxj, kan deze standaarddeviatie en gemiddelde waarde voor Hx worden berekend, waaruit dan tenslotte een GHG en een GLG kunnen worden afgeleid.

[11] Deze tweede aanname is uiteraard niet meer geldig als de tijdspanne tussen de metingen meer is dan 3 à 6 maanden (risico op seizoenschommelingen) of als er tussen 2 metingen plotse schommelingen optreden ten gevolge van intense regenval.

3.10.2 Bepalen van de infiltratiecapaciteit

Om na te gaan of in het projectgebied het hemelwater op afdoende manier in de ondergrond kan dringen, is het van belang om de infiltratiecapaciteit van het projectgebied in te schatten. In geval van onzekerheid is het uitvoeren van infiltratiemetingen aangewezen. Op basis van de bodemtextuur vermeld op de Belgische bodemkaart kan men een eerste indicatie bekomen van de infiltratiecapaciteit (zie tabel 3.2). Voor elke textuurklasse van de Belgische bodemkaart zijn gemiddelde waardes opgesteld van de infiltratiecapaciteit. Het is echter gevaarlijk om louter van deze gemiddeldes te vertrekken om de impact van een ontwerp te begroten, voornamelijk om volgende redenen:

- De Belgische bodemkaart is een zeer waardevolle en gedetailleerde kaart, maar is niet geschikt om op zeer lokaal niveau een uitspraak te doen over de aanwezige textuur.
- In verstedelijkt gebied is vaak geen informatie beschikbaar.
- De variabiliteit van de infiltratiecapaciteit binnen eenzelfde textuur is vele malen groter dan de verschillen tussen de verschillende texturen onderling.
- Ook de variabiliteit op de metingen binnen bepaalde site kan sterk verschillen

Voor projecten waar een afweging tussen infiltratie, vertraagde afvoer of een combinatie van beide dient te worden gemaakt, is het dan ook steeds van belang om projectspecifiek de infiltratiecapaciteit te bepalen.

Tabel 2: Infiltratiecapaciteit in functie van de textuur[12]

Textuurklasse	Infiltratiecapaciteit Ksat (mm/u)			Infiltratiecapaciteit Ksat (m/s)		
	Var-	Gemiddelde	Var+	Var-	Gemiddelde	Var+
Z ('zand')	22,5	74	243	6,25 x10-6	2,05 x10-5	6,75 x10-5
S ('lemig zand')	5,15	19,58	74,52	1,43 x10-6	5,44 x10-6	2,07 x10-5
E ('klei'*)	4,54	17,46	67,32	1,26 x10-6	4,85 x10-6	1,87 x10-5
P ('licht zandleem')	2,77	13,64	66,96	7,70 x10-7	3,79 x10-6	1,86 x10-5
L ('zandleem')	1,4	7,45	39,6	3,90 x10-7	2,07 x10-6	1,10 x10-5
A ('leem')	1,03	5,69	31,21	2,86 x10-7	1,58 x10-6	8,67 x10-6
U ('zware klei')	-	-	-	-	-	-
Var-: aanduiding van variabiliteit waarbij 66% van de waarnemingen hoger was dan Var- Var+: aanduiding van variabiliteit waarbij 66% van de waarnemingen lager was dan Var+ *bodemklasse E wordt volgens de bodemkaart 'klei' genoemd, maar omvat in praktijk grote variabiliteit van bodemtexturen						

Voor de zware kleibodems (U-textuur) werden geen gemiddelde waarden berekend aangezien deze doorlatendheden laag zijn en infiltratievoorzieningen op die gronden bijgevolg weinig impact zullen hebben. Daarnaast zijn de poldergronden onderhevig aan een aparte systematiek. Om die reden werden deze eveneens niet in algemene tabellen opgenomen.

3.10.2.1 Voorbereiding van de infiltratieproef

Het is van belang om voorafgaand aan de keuze van de infiltratieproeven een degelijk onderzoek uit te voeren naar het type bodem en de grondwatertafel in het gebied. Enkel op die manier kunnen infiltratieproeven gericht en zo zinvol mogelijk worden uitgevoerd. Door het uitvoeren van profielboringen kan een goed zicht bekomen worden op de bodemsamenstelling in het gebied. Op die manier kunnen

[12] Bron: studie "Opstellen van richtlijnen voor meten van infiltratiecapaciteit en modelmatig onderbouwen voor dimensionering van infiltratievoorzieningen", VMM, 2017

indien relevant de infiltratievoorzieningen gesitueerd worden ter hoogte van de beter doorlatende bodemlagen (bijvoorbeeld zandgrond). Daarnaast zal informatie over de grondwatertafel (zie hoger) eveneens relevant zijn, niet enkel voor het ontwerp van de infiltratievoorziening, maar ook omdat het uitvoeren van infiltratieproeven onder de grondwatertafel weinig zinvol is. Op basis van deze informatie kan het type infiltratieproef gekozen worden evenals de diepte waarop de infiltratieproef moet worden uitgevoerd.

De diepte waarop de infiltratieproef wordt uitgevoerd, is afhankelijk van de diepte waarop de infiltratievoorziening zal worden voorzien. Beiden dienen op elkaar te worden afgestemd.

3.10.2.2 Aantal metingen per proef

Vooreerst dient de bodem verzadigd te worden met water vooraleer de effectieve meting kan starten. Veelal worden metingen herhaald tot een stabiele waarde wordt bereikt. Men neemt dan aan dat deze waarde de verzadigde waarde is. Betrouwbare metingen zijn enkel mogelijk nadat een stabiele infiltratiecapaciteit werd verkregen, de verzadigings- of saturatieconstantie (Ksat).

Uit de infiltratiestudie bleek dat per site de variabiliteit sterk kan verschillen. Daarom moeten zeker meerdere herhalingen uitgevoerd worden. Per proefkader dat onderzocht wordt (+/- 20 m²) dienen minimaal drie en bij voorkeur vier infiltratieproeven uitgevoerd te worden op verschillende plaatsen en op dezelfde diepte. In het geval van lijninfrastructuur kan op basis van terreinkennis de heterogeniteit van de zone worden bepaald en kan er gericht nagegaan worden waar metingen aangewezen zijn. De gemiddelde waarde bekomen uit deze proeven is de infiltratiecapaciteit waarmee verder gewerkt kan worden. In geval van relevante uitschieters bij de gemeten waarden, dient de oorzaak van de afwijkende waarden te worden onderzocht. Wanneer de afwijking niet kan verklaard worden, wordt de waarde niet verder meegenomen en dient een bijkomende infiltratieproef uitgevoerd te worden.

Richtinggevend kunnen volgende aantallen gehanteerd worden in functie van de omvang van het project (bron: provinciaal beleidskader wateradvies Antwerpen):

Tracé (m)	# proeflocaties infiltratieproeven	# proeflocaties grondwaterpeilmetingen
< 100	2	1
100 – 400	3	2
400 – 600	4	2
600 – 800	5	3
800 – 1000	6	3
≥ 1000	6 + 1 per begonnen 500 lm boven de 1000 m	3 + 1 per begonnen 500 lm boven de 1000 m
≥ 5000	Overleg waterloopbeheerder aangewezen	

3.10.2.3 Type proeven

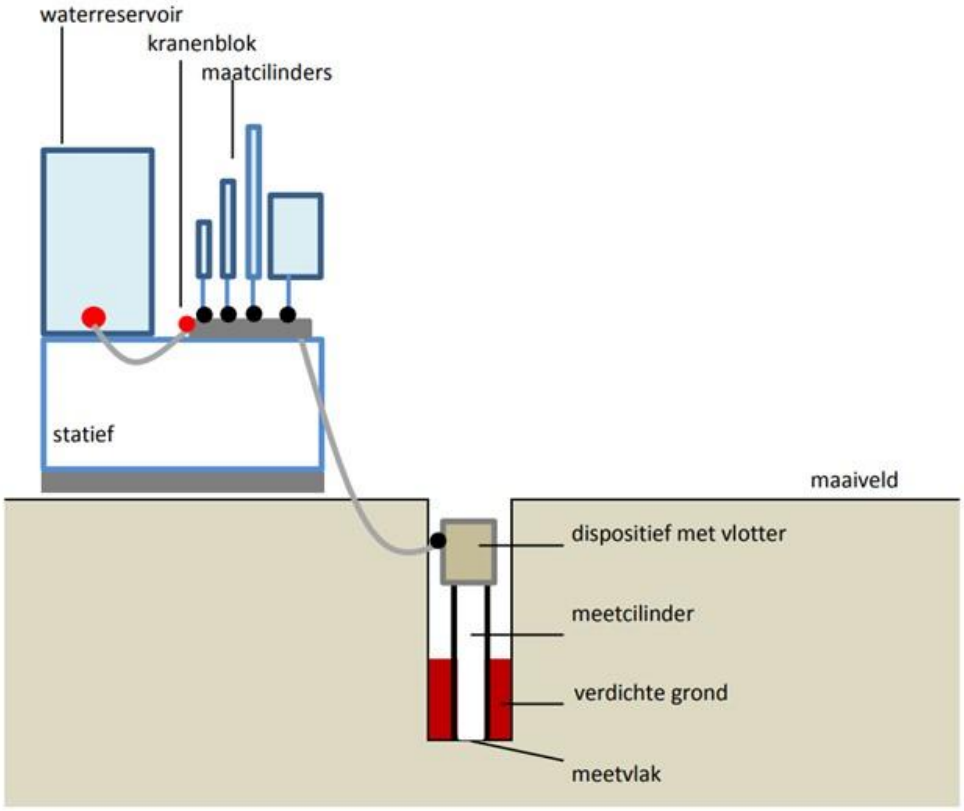
Er zijn heel wat proeven op de markt beschikbaar. Onderstaande proeven leveren betrouwbare informatie over de infiltratiecapaciteit op.

Alle technische achtergrondinfo horende bij de infiltratieproeven is terug te vinden op www.vmm.be/infiltratieproeven. Op deze website zijn eveneens de gedetailleerde werkvoorschriften terug te vinden die moeten gerespecteerd worden bij het uitvoeren van de beschreven infiltratieproeven evenals de relevante invulfiches voor het berekenen van de resultaten.

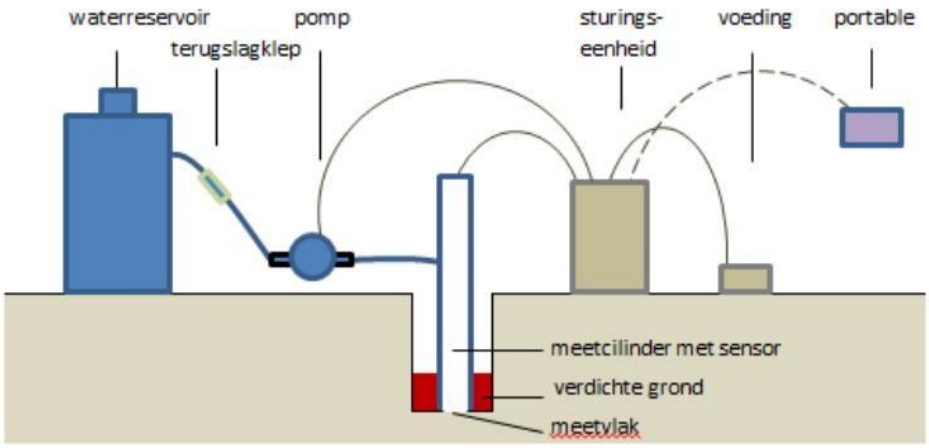
Bij de proeven wordt de infiltratiecapaciteit gemeten door ofwel het waterpeil constant te houden (constant head) ofwel te meten hoe snel het water daalt in het boorgat (falling head).

3.10.2.4 Open-end-test

De test wordt uitgevoerd door middel van het inbrengen van een buis die enkel aan de onderzijde open is. De infiltratiecapaciteit wordt gemeten met constant head. De proef meet vooral de verticale doorlatendheid. Voorafgaand aan de proef moet de grond steeds voldoende lang gesatureerd worden. Het meetvlak is tamelijk beperkt, de buis heeft een diameter van ongeveer 10 cm.



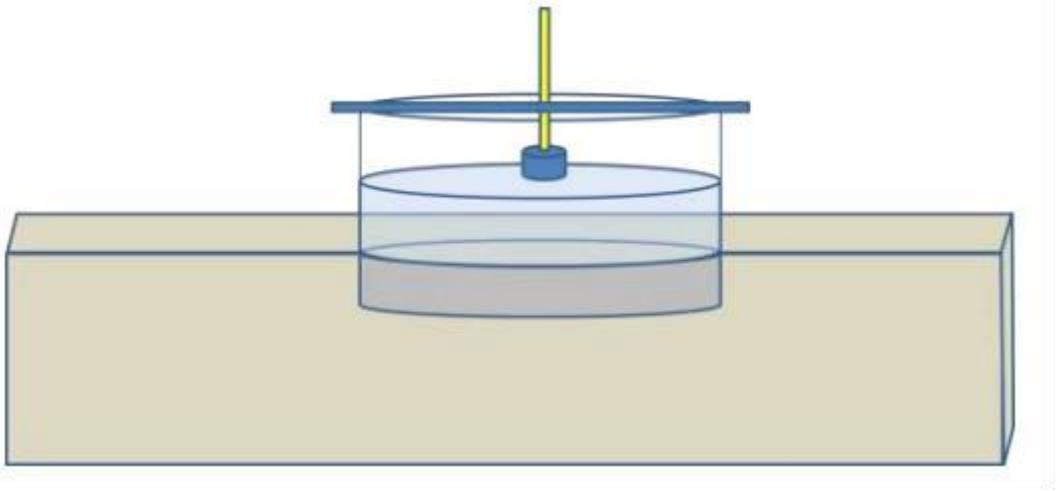
Figuur 30: Principeschets open-end-test, constante druk door zwaartekracht en een waterkolom



Figuur 31: Principeschets open-end-test, constante druk door een externe pomp

3.10.2.5 Enkele ring/dubbele ring

De afweging of voor een enkele of dubbele ring moet gekozen worden hangt af van de homogeniteit van de bodem. Enkel bij volledig homogene bodemtypes, mag voor een enkele ring gekozen worden. In geval van twijfel of bij heterogene bodemtypes dient steeds voor een dubbele ring gekozen te worden.

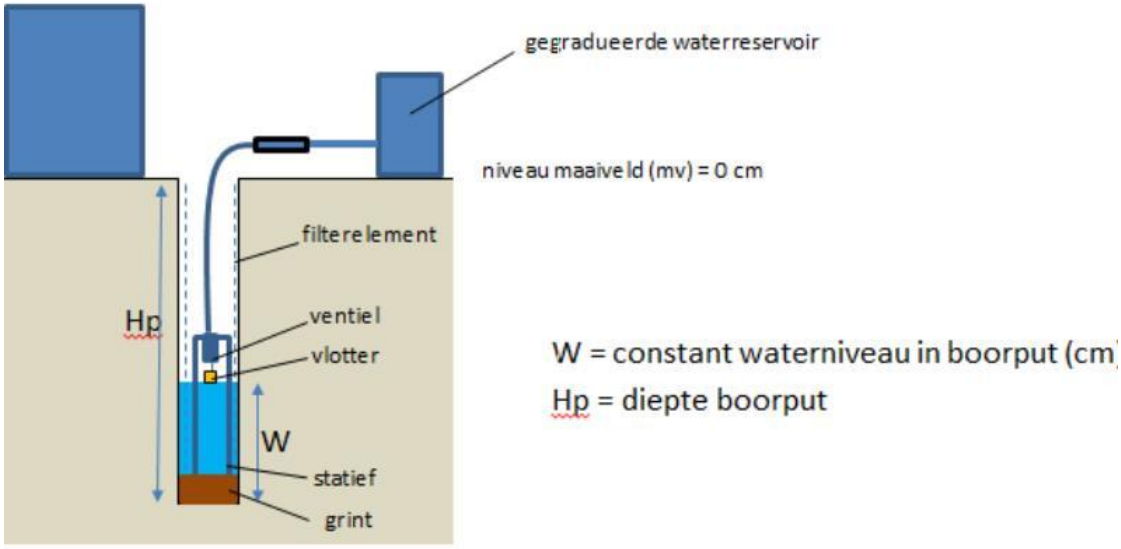


Figuur 32: Principetekening infiltratieproef met enkele ring

De infiltratiecapaciteit wordt gemeten via constant head of falling head. De test meet zowel de verticale als horizontale doorlatendheid. Voorafgaand aan de proef moet de grond steeds voldoende lang gesatureerd worden. Het meetvlak is tamelijk groot, de ring heeft een diameter van ongeveer 30 cm.

3.10.2.6 Methode porchet

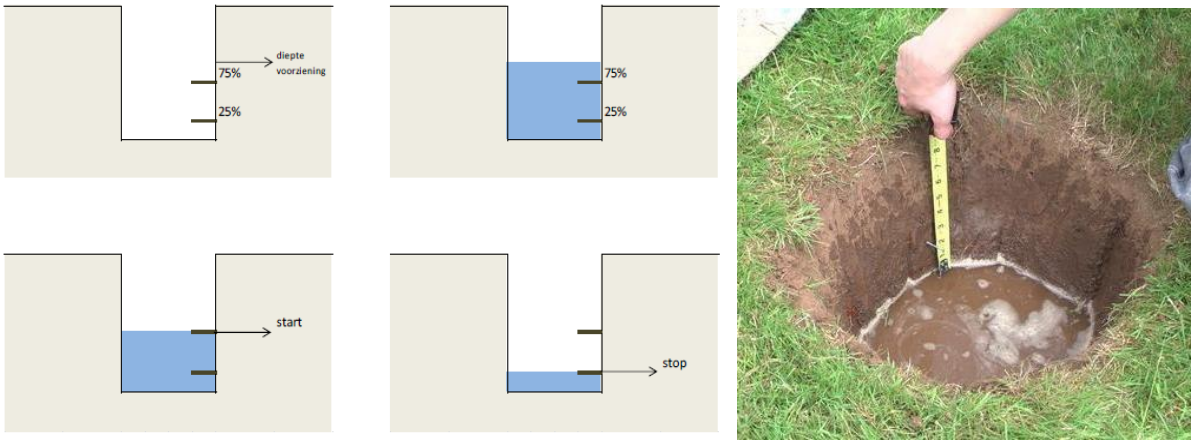
De infiltratiecapaciteit wordt gemeten via constant head of falling head. De proef wordt uitgevoerd in een boorgat waarbij zowel de bodem als de wand infiltratie toelaten De proef meet hoofdzakelijk de verticale doorlatendheid en in beperkte mate de horizontale doorlatendheid. Voorafgaand aan de proef moet de grond steeds voldoende lang gesatureerd worden. Het meetvlak is relatief groot.



Figuur 33: Principetekening methode Porchet

3.10.2.7 Soakaway test

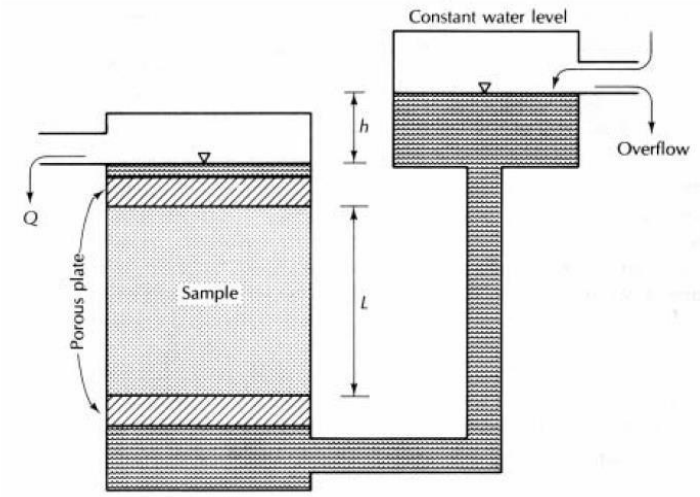
De proef wordt uitgevoerd in een gegraven put waarbij de snelheid van de waterdaling (falling head) wordt bepaald om de infiltratiecapaciteit te berekenen. Met de proef wordt vooral de verticale doorlatendheid berekend, maar eveneens deels de horizontale. Het is van belang om voorafgaand aan de proef de bodem voldoende te satureren. Het meetvlak is relatief groot.



Figuur 34: Principe soakaway-test

3.10.2.8 Labomethode

Op basis van een steekmonster kunnen in labo-omstandigheden eveneens de doorlatendheden bepaald worden. De beproefde oppervlakte is zeer beperkt door de omvang van het steekmonster. De proef meet de verticale doorlatendheid.



Figuur 35: Principeschets labomethode

3.10.3 Keuze van infiltratieproef en aandachtspunten

Bij het kiezen van infiltratieproeven worden bij voorkeur in-situ proeven uitgevoerd. De laboproeven tonen een significant lagere infiltratiecapaciteit en hebben een veel grotere variabiliteit dan de in-situ proeven. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door de zeer kleine meetoppervlakte die wordt gebruikt. Op basis van uitgebreide testen blijkt dat alle hierboven vermelde in-situ testen vergelijkbare gemiddelde waardes opleveren, mits deze volgens de vastgelegde richtlijnen worden uitgevoerd. De keuze van de proef zal dus vooral afhankelijk zijn van een aantal praktische afwegingen die in Tabel 3 worden weergegeven.

Tabel 3: Overzicht infiltratieproeven

	Open End	Enkele/DubbeleRing	Porchet	Soakaway
Investeringskost	Eerder hoog	Gematigd	Gematigd	Zeer laag
Gemiddelde duur tot verzadiging	Kort	Kort tot middellang	Middellang	Kort tot zeer lang
Hoeveelheid water nodig voor de meting*	Normaal (+- 20 l)	Normaal (+- 20 l)	Kan oplopen tot meer dan 100 l	Normaal (+- 20 l)
Risico op outliers	Hogere kans	Normaal	Normaal	Normaal
Beperkingen en calamiteiten op het terrein	Visuele controle moeilijk bij technische storingen ingeval automatisatie	Moeilijk om ring aan te brengen in stenige ondergrond Veel graafwerk bij metingen op de diepere horizonten	Vereist opvolging tijdens de meting Beperking in meetbereik bij hoge infiltratiecapaciteit	Put valt in Veel graafwerk bij metingen op de diepere horizonten

*: exclusief de hoeveelheid water nodig om verzadiging van de bodem te bereiken.

Het is van groot belang om de infiltratieproeven niet uit te voeren bij een bevroren ondergrond of na zware regenval. Het regenfront dat zich door de bodem verplaatst kan luchtinsluiting veroorzaken (Lisse-effect) waardoor vertekende infiltratiewaardes worden bekomen. Daarnaast kan bij een aantal proeven het water uit het bodemprofiel zich vermengen met het toegevoegde water van de infiltratieproef, waardoor eveneens verkeerde infiltratiewaardes worden bekomen. Het uitvoeren van infiltratieproeven bij extreme droogte is ook niet aangewezen omdat bodemprofielen kunnen openbarsten als gevolg van droogte en eveneens een vertekende waarde weergeven. Daarnaast is het bij alle proeven van fundamenteel belang dat de kwaliteit van het meetvlak wordt bewaard door verdichting of verslemping te vermijden. Het volgen van de werkvoorschriften is dan ook van groot belang.

3.11 Lijst met afbeeldingen

Figuur 1: Stroomschema toepassingsgebied hemelwaterverordening en technische toelichting 'bronmaatregelen' 9
Figuur 2: De ladder van Lansink toegepast op hemelwater 10
Figuur 3: Stappenplan omgaan met hemelwater op openbaar domein (bron: Aquafin) 10
Figuur 4: Opbouw waterdoorlatende bestrating … 12
Figuur 5: Principeschets van een infiltratiekom (bron: www.blauwgroenvlaanderen.be) 14
Figuur 6: Voorbeelden van infiltratiekommen (bron: blauwgroenvlaanderen.be) 14
Figuur 7: Principeschets stedelijke infiltratiestroken (bron: www.blauwgroenvlaanderen.be) 15
Figuur 8: Voorbeelden van stedelijke infiltratiestroken (bron: Aquafin) 15
Figuur 9: Principetekening boomgroeiplaats 16
Figuur 10: Principeschets van een Wadi (bron: www.blauwgroenvlaanderen.be) 16
Figuur 11: Voorbeeld van een WADI (Water Afvoeren Door Infiltratie)... 17
Figuur 12: Voorbeelden van grachten (bronnen: milieuinfo.be, Aquafin) 17
Figuur 13: Voorbeeld van infiltratie via een grindstrook (bron: www.blauwgroenvlaanderen.be) 18
Figuur 14: Verticale infiltratiepalen 18
Figuur 15: Een infiltratiekolk (bron: VLARIO) 19
Figuur 16: Infiltratieleidingen 19
Figuur 17: Ondergrondse infiltratiebekkens 20
Figuur 18: Waterdoorlatende onderfundering met ondoorlatende verharding (bron: Aquafin) 20
Figuur 19: Ecologische inrichting van een bovengrondse buffervoorziening 21
Figuur 20: Infiltratievolume in de onderfundering, rekening houdend met de terreinhelling 24
Figuur 21: Gebruik van stuwmuurtjes en terrassen bij infiltratie via de wegkoffer 25
Figuur 22: Infiltratieoppervlakte en -volume bij bovengrondse infiltratievoorzieningen 26
Figuur 23: In rekening te brengen infiltratieoppervlaktes bij infiltratieleidingen 27
Figuur 24: Impact van de onderlinge afstand van infiltratievoorzieningen op de in rekening te brengen infiltratieoppervlakte (rode aanduiding) 28
Figuur 25: Stappenplan om te komen tot een goed ontwerp van bronmaatregelen 34
Figuur 26: Voorbeeld van de freatische grondwaterstandsindicator (bron: DOV verkenner) 37
Figuur 27: De gemiddeld hoogste en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GHG en GLG) uitgedrukt in centimeter onder maaiveld (cm-mv). 38
Figuur 28: Voorbeeld van interpolatie van stijghoogte… 40
Figuur 29: Ligging van een punt met eenmalige meting, … 42
Figuur 30: Principeschets open-end-test, constante druk door zwaartekracht en een waterkolom ... 46
Figuur 31: Principeschets open-end-test, constante druk door een externe pomp 46
Figuur 32: Principetekening infiltratieproef met enkele ring 47
Figuur 33: Principetekening methode Porchet 47
Figuur 34: Principe soakaway-test 48
Figuur 35: Principeschets labomethode 48

3.12 Aanverwante informatie

- Waterdoorlatende bestratingen (OCW):
  https://brrc.be/sites/default/files/2019-10/dossier05_nl.pdf

- Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen (FEBE):
  https://www.febe.be/frontend/files/userfiles/files/Groupements/FEBESTRAL/Waterdoorlatende%20verhardingen%20met%20betonstraatstenen/Waterdoorlatende%20bestratingen.pdf

- Richtlijnen bovengrondse infiltratievoorzieningen (Vlario):
  https://www.vlario.be/download/17816/?tmstv=1702652385

- Richtlijnen ondergrondse infiltratievoorzieningen (Vlario):
  https://www.vlario.be/download/17820/?tmstv=1702652415

- Blauwgroenvlaanderen.be:
  https://www.blauwgroenvlaanderen.be

- Fiches infiltratie- en bufferingssystemen (Vlario):
  https://www.vlario.be/infiltratiesystemen/

- Weerbaar waterland - Advies van het expertenpanel hoogwaterbeveiliging aan de Vlaamse Regering:
  https://vmm.be/nieuws/archief/advies-weerbaar-waterland.pdf