

# Katern

## afkoppelen, bufferen en infiltreren





Deze tekst werd samengesteld door:

Raf Bouteligier, Guido Vaes en Jean Berlamont, Laboratorium voor Hydraulica, K.U.Leuven

Anne Beeldens, Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw

Paul Blomme, BCCA

Karel Michiels, Keramo Steinzeug

Claude T'Joen, Storama

Laurence Van Belle, Eternit

Gino Van Gucht, Pipelife

Davy Vennekens, FEBE

Hans Verhoeven, DYKA

Jo Augustyns, Rehau

Anne Monnaers, Aquafin, voorzitter

In het kader van Vlario Werkgroep 5: Typebestekken en normen, Deelgroep Infiltratievoorzieningen.

VLARIO vzw

Sint-Bernardsesteenweg 1126

2660 Hoboken

## **Inhoudstafel**

<b>INHOUDSTAFEL</b> .....	<b>4</b>
<b>VOORWOORD</b> .....	<b>6</b>
<b>1. INLEIDING</b> .....	<b>8</b>
1.1. WAAROM AFKOPPELEN, BUFFEREN EN INFILTREREN? .....	8
1.2. WATER ALS NATUURLIJK, ZICHTBAAR ELEMENT IN HET LANDSCHAP EN DE STEDELIJKE OMGEVING... 9	9
1.3. KOSTENASPECTEN .....	10
1.3.1. <i>Kosten voor het rioleringsgedeelte</i> .....	10
1.3.2. <i>Kosten ter hoogte van het zuiveringsstation</i> .....	11
1.4. VOORBEREIDINGSFASE .....	11
1.5. DOELGROEP VAN DEZE KATERN .....	12
1.6. RICHTLIJNEN WAAROP AFKOPPELING, BUFFERING EN INFILTRATIE GEBASEERD ZIJN .....	12
1.7. TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN .....	13
<b>2. BRONMAATREGELEN</b> .....	<b>14</b>
2.1. ALGEMEEN .....	14
2.2. TOEPASSINGSSCHEMA'S .....	16
2.2.1. <i>Schema 1: Regenwaterafvoer van dakoppervlakken</i> .....	16
2.2.2. <i>Schema 2: Regenwaterafvoer van verharde oppervlakken andere dan dakoppervlakken</i> . 18	18
2.2.3. <i>Schema 3: Infiltratievoorzieningen</i> .....	20
2.2.4. <i>Schema 4: Piekaafvoer</i> .....	21
2.3. KWALITEIT AFSTROMEND HEMELWATER .....	23
2.3.1. <i>Daken</i> .....	23
2.3.2. <i>Wegen</i> .....	23
2.3.3. <i>Parkeerterreinen</i> .....	24
2.3.4. <i>Andere grote oppervlakken</i> .....	24
<b>3. TYPES INFILTRATIEVOORZIENINGEN</b> .....	<b>26</b>
3.1. ONMIDDELLIJKE INFILTRATIE VANAF HET OPPERVAK IN DE ONDERGROND .....	26
3.1.1. <i>Algemeen</i> .....	26
3.1.2. <i>Oppervlakte-afwerking met begroeiing</i> .....	29
3.1.3. <i>Oppervlakte-afwerking zonder begroeiing</i> .....	30
3.2. BERGEN IN OPEN VOORZIENINGEN MET INFILTRATIE .....	33
3.2.1. <i>Infiltratiekommen (wadi's)</i> .....	33
3.2.2. <i>Lijnvormige elementen</i> .....	36
3.2.3. <i>Bergingsbekkens met infiltratie</i> .....	38
3.3. BERGEN IN ONDERGRONDSE VOORZIENINGEN MET INFILTRATIE .....	40
3.3.1. <i>Private personen: Infiltratieputten, infiltratiekolken, infiltratiebuizen en infiltratieblokken</i> .....	40
3.3.2. <i>Wegen: Lijnvormige ondergrondse structuren met infiltratie</i> .....	44
3.3.3. <i>Grote oppervlakken: Niet-lijnvormige structuren met infiltratie</i> .....	46
<b>4. TYPES BERGINGSVOORZIENINGEN ZONDER INFILTRATIE</b> .....	<b>54</b>
4.1. ONMIDDELLIJKE BERGING IN STRUCTUUR .....	55
4.2. BERGEN IN OPEN VOORZIENINGEN .....	58
4.2.1. <i>Lijnvormige elementen – Berging in lijn</i> .....	58
4.2.2. <i>Niet-lijnvormige elementen (berging in bekkens)</i> .....	60
4.3. BERGEN IN ONDERGRONDSE VOORZIENINGEN .....	64
4.3.1. <i>Hemelwaterputten</i> .....	64
4.3.2. <i>Lijnvormige elementen (bergingsriool)</i> .....	65
4.3.3. <i>Niet-lijnvormige elementen</i> .....	65

<b>5. DIMENSIONERING .....</b>	<b>70</b>
5.1. ALGEMENE DIMENSIONERINGSMETHODOLOGIE .....	70
5.1.1. <i>Algemene bufferwaarden</i> .....	70
5.1.2. <i>Toepassingdomein</i> .....	72
5.1.3. <i>Keuze van de optimale dimensies</i> .....	73
5.1.4. <i>Vergelijking met de oude ontwerpregels</i> .....	74
5.2. DIMENSIONERING INFILTRATIEVOORZIENINGEN .....	75
5.2.1. <i>Algemeen</i> .....	75
5.2.2. <i>Doorlatende verhardingen</i> .....	76
5.2.3. <i>Gewone infiltratievoorzieningen</i> .....	78
5.2.4. <i>Infiltratievoorzieningen met verbetering van de ondergrond (eventueel met lokale drainage)</i> .....	79
5.2.5. <i>Grachten en andere lijnvormige elementen</i> .....	80
5.3. DIMENSIONERING HEMELWATERPUTTEN.....	82
5.4. DIMENSIONERING GROENDAKEN .....	83
5.5. INFILTRATIECAPACITEIT .....	84
5.5.1. <i>De infiltratiecapaciteit</i> .....	84
5.5.2. <i>Metten van de infiltratiecapaciteit</i> .....	84
5.5.3. <i>Veiligheidsfactor en ontwerpfactor</i> .....	86
5.6. DEBIETBEPERKERS .....	89
5.6.1. <i>Knijpleiding</i> .....	89
5.6.2. <i>Wervelventiel</i> .....	89
5.6.3. <i>Pompen</i> .....	90
5.6.4. <i>Drainagekoffer</i> .....	90
<b>REFERENTIE- EN LITERATUURLIJST .....</b>	<b>92</b>

## **Voorwoord**

Deze tekst is een herziening en uitbreiding van de eerste versie van de katern "Afkoppelen, bufferen en infiltreren", die in 1999 bij VLARIO vzw is verschenen. Deze tekst geeft een overzicht van de verschillende systemen die voor infiltratie en voor buffering gebruikt kunnen worden.

Belangrijke wijzigingen bij deze herziene versie zijn in eerste instantie de integratie van de richtlijnen zoals deze opgenomen zijn in de (toelichting bij de) vernieuwde "Code van goede praktijk voor het ontwerp en gebruik van rioleringen" (Vaes *et al.*, 2004). Dit heeft vrij belangrijke aanvullingen op en wijzigingen in de dimensioneringsmethodologie teweeg gebracht. Deze katern heeft niet tot doel alle richtlijnen en verordeningen weer te geven, wel biedt de katern een aantal parameters en vereisten aan, gebaseerd op de huidige technologische kennis.

In de beschrijving van de materialen is een vereenvoudiging doorgevoerd naar indeling. Onderscheid wordt gemaakt tussen infiltratie en buffering. Vervolgens worden drie groepen besproken, afhankelijk van de wijze van infiltratie of berging: onmiddellijke infiltratie of berging, infiltratie en berging via open voorzieningen en infiltratie en berging via ondergrondse voorzieningen. Telkens wordt er een overzicht gegeven van de verschillende mogelijkheden, waarbij er aandacht geschonken wordt aan de voordelen en de nadelen van elke toepassing en aan de belangrijkste punten voor het aanleggen van de producten.

Gezien in deze katern ook een aantal nieuwe producten beschreven worden en slechts de laatste jaren veel aandacht naar buffering, opwaarts in het systeem, en infiltratie van hemelwater geschonken wordt, was het vaak niet mogelijk het gedrag van de systemen op lange termijn te bepalen. Dit zal in de toekomst ingevuld worden door een aanvulling van deze katern met case-studies.

De leden van de werkgroep en VLARIO vzw hebben er voor geopteerd deze katern enkel in elektronische vorm ter beschikking te stellen omdat op deze wijze een update van de verschillende technieken, aanvullingen op basis van uitgevoerd onderzoek en projecten en uitbreidingen naar nieuwe technieken op een eenvoudige wijze mogelijk worden. In deze vorm kan de katern ook op een eenvoudige manier beschikbaar gesteld worden aan een groot publiek, via de website van VLARIO vzw (<http://www.vlario.be>).



## 1. Inleiding

### 1.1. **Waarom afkoppelen, bufferen en infiltreren?**

De klassieke aanpak bij het ontwerp van een rioelstelsel was lange tijd gebaseerd op het zo snel mogelijk afvoeren (via gemengde riolering) van het water dat op verharde, ondoorlatende oppervlakken in het gebied valt en dit vaak naar een plek zo ver mogelijk verwijderd van het beschouwde gebied. Deze aanpak heeft echter een aantal negatieve gevolgen voor het milieu en, meer specifiek, voor de waterbalans:

- Versneld afvoeren van regenwater vermindert de infiltratiemogelijkheden en heeft een verlaging van de grondwatertafel tot gevolg. Beeksystemen kunnen hierdoor sneller droogvallen. Er wordt minder grondwater toegevoerd naar stilstaande wateren (poelen, vennen) en stromende wateren (bronnen, bovenlopen van beken). Planten worden minder van vocht voorzien, waardoor andere, minder vochtminnende, vegetaties ontstaan. Ook de diersoorten die aan deze vegetaties gebonden zijn, kunnen wijzigen. Een daling van de grondwatertafel kan tot verminderde opbrengsten leiden in land- en tuinbouw. Irrigatie, die dan vaak noodzakelijk wordt, leidt tot bepaalde verliezen aan grondwater (verdamping, versnelde afstroming) wat een verdere grondwatertafelverlaging in de hand werkt.
- Bij hevige neerslag kan het zuiveringsstation minder effectief werken onder andere door een verminderd zuiveringsrendement, minder optimale bezinking in de nabezinkingsbekkens en uitspoeling van de fijne fractie.
- Bij hevige neerslag treden overstorten in werking waarbij (met regenwater gemengd) afvalwater (uit het gemengde rioelstelsel) en regenwater (uit het regenwaterriool van het gescheiden stelsel) direct op het oppervlaktewater worden geloosd. Naarmate de rioelwaterzuivering verder uitgebouwd wordt, zullen deze periodieke lozingen meer invloed hebben. Immers, door de zuiveringsinspanningen worden de rivieren reiner, met meer planten en een grotere vispopulatie. Periodieke lozingen uit de riolering, een aantal keren per jaar, kunnen dit gezond gemaakt ecosysteem weer grondig verstoren.
- De neerslag kan zo extreem zijn dat het rioelstelsel de (snel) aangevoerde hoeveelheden water niet langer kan slikken, waardoor er overstromingen ontstaan. Hierbij komt er afvalwater, verdund met regenwater, op straat of, erger nog, in de woningen terecht met mogelijke schade en geurhinder tot gevolg.

Door af te koppelen, te bufferen en te infiltreren worden bovenstaande nadelen in zekere mate beperkt. Deze (nieuwe) aanpak heeft daarnaast ook nog talrijke, niet te verwaarlozen, voordelen die hieronder worden toegelicht.

#### Afkoppelen

Het afkoppelen van (afstromend) regenwater en andere aangesloten parasitaire debieten (bv. grachten, waterlopen, infiltratie t.g.v. lekke riolen e.d.) van het gemengd rioel, de aanleg van gescheiden rioelstelsels en afwateringssystemen (waarbij het afvalwater en het regenwater via afzonderlijke transportsystemen wordt afgevoerd) en het verminderen van de hoeveelheid verhard, ondoorlatend oppervlak maken dat er minder (relatief zuiver) water naar de rioelwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) wordt afgevoerd. Ook de piekbelasting op de RWZI wordt hierdoor verminderd. Dit is voordelig omdat een constante, meer geconcentreerde vuilvracht een positieve invloed heeft op het zuiveringsrendement.

Door het opvangen van het regenwater in bv. een regenwaterput, kan het water hergebruikt worden in het huishouden (bv. voor toiletspoeling of in de tuin) waardoor er kan bespaard worden op de drinkwaterfactuur.



Bergbezinkingsbekkens kunnen (bij gemengde rioelstelsels) nodig zijn om de vuilvrachtlozingen via overstorten naar het oppervlaktewater te beperken. Bij minder dichte bebouwing is de specifieke kost van bergbezinkingsbekkens per inwoner-equivalent (I.E.) echter een dure aangelegenheid. Door af te koppelen verkleint het via het gemengde rioelstelsel af te voeren debiet en vermindert de noodzaak om (ter hoogte van de overstorten) bergbezinkingsbekkens te bouwen.

### Bufferen

Door een beperkte afwaartse doorvoer van afstromend regenwater te voorzien en het water (opwaarts) te bufferen, wordt het water vertraagd afgevoerd. Hierdoor verkleinen de piekdebieten in het afwaartse systeem en kan het overstromingsrisico teruggedrongen worden. Deze aanpak (zeker in combinatie met infiltratie) sluit bovendien nauw aan bij de natuurlijke situatie.

### Infiltreren

Eén van de nadelen van de oude aanpak (het snel afvoeren van afstromend regenwater, weg van de plek waar de neerslag valt) is dat de natuurlijke waterbalans verstoord wordt. Dit probleem kan deels worden opgevangen door het regenwater in de bodem te laten infiltreren (daar waar het valt of in meer gecentraliseerde infiltratievoorzieningen). Hierdoor wordt het grondwater aangevuld en kan verdere verdroging worden tegengegaan.

De meeste van deze voordelen gelden voor de in deze katern besproken systemen. Ze worden daar dan ook niet meer herhaald. Al deze systemen vergen dat aan de bron bepaalde maatregelen worden doorgevoerd, namelijk scheiden en afkoppelen.

## **1.2. Water als natuurlijk, zichtbaar element in het landschap en de stedelijke omgeving**

Water is de bron van alle leven en zuiver water is schaars. Bovendien maakt water integraal deel uit van de natuurlijke omgeving. Als zichtbaar, natuurlijk element in het landschap en de stedelijke omgeving biedt het tal van mogelijkheden, zowel voor planten en dieren (ecologische meerwaarde) als voor de mens (bv. recreatief). Je kan je dan ook afvragen waarom het (regen)water dan nog ondergronds zou moeten afgevoerd worden. De voorkeur gaat daarom uit naar het afvoeren en het infiltreren van regenwater via open systemen. Dergelijke systemen voor vertraagde afvoer, opslag en infiltratie kunnen als biotopen worden ingericht (ecologische meerwaarde). Daarnaast maakt de openheid dat foutieve aansluitingen en misbruik snel zichtbaar zijn en dat het beheer en onderhoud eenvoudiger is. Door een herwaardering van het bestaande (gesaneerde) grachtenstelsel, als variante op de afvoer van regenwater via regenwaterleidingen, is daarenboven een besparing op de leidingeninfrastructuur mogelijk.

Water naar het oppervlak brengen vraagt echter de nodige ruimte. Vaak is deze niet beschikbaar in sterk verstedelijkte gebieden. Ook voor bestaande woongebieden lijkt het niet eenvoudig om ingrepen naar afkoppelen, bufferen en infiltreren door te voeren. Dat dit echter geen belemmering hoeft te zijn, wordt geïllustreerd in de publicatie "Ontwerpen met regenwater" van de Stichting RIONED (van Dooren en Hermans, 2003). Deze publicatie illustreert twintig projecten met concrete oplossingen (waarvan vele in reeds bestaande bebouwing) en dit voor verschillende schaalgroottes. De publicatie kan besteld worden via de website van de Stichting RIONED (<http://www.riool.net>).

### 1.3. Kostenaspecten

#### 1.3.1. *Kosten voor het rioleringsgedeelte*

Vooral om economische redenen werd vroeger gekozen voor een gemengd rioleringsstelsel: afvalwater en regenwater werden in dezelfde leiding getransporteerd. Omdat het zeer duur zou worden om ook nog de zeer zware buien in dit rioleringsstelsel te bergen of alles naar het zuiveringsstation te brengen was men verplicht om op regelmatige plaatsen regenwater vermengd met afvalwater via overstorten af te leiden naar het oppervlaktewater. Om de vervuiling van het milieu daarbij te beperken, of in een aantal gevallen zelfs overstromingen beter te beheersen, dringen maatregelen zich op zoals afkoppelen van daken en andere verharde oppervlakken, tijdelijk bergen in bekkens, verbeteren van overstortconstructies, sturing van de (afval)waterstromen via regelkleppen, pompen en/of schuiven die eventueel m.b.v. meetstations en een telemetrienetwerk vanuit een centrale worden geregeld. Ook het bouwen van gescheiden stelsels, waarbij regenwater lokaal wordt opgehouden, wordt hergebruikt, geïnfiltreerd en/of over korte transportwegen naar oppervlaktewateren wordt gevoerd, kan een maatregel zijn.

Het aanleggen van een dubbel leidingsysteem betekent niet in alle gevallen een sterke verhoging van de kosten. Verschillende parameters spelen hierbij een rol zoals:

- de dichtheid van de het wegnnet en het oppervlaktewaternet;
- de geschiktheid van de bodem om infiltratie toe te passen (grondwaterstand, doorlatendheid);
- aanleg in de berm of onder de rijweg;
- de vereiste diameters: moeten ook opwaarts gelegen oppervlakken mee afgevoerd worden? voor gescheiden stelsels kan vaak worden volstaan met DN 250 zoals in de ons omringende landen courant wordt toegepast;
- in vergelijking met een gemengd stelsel kan vaak op het bouwen van bergingsconstructies bespaard worden (dergelijke bekkens worden gebouwd om het aantal overstortgebeurtenissen te beperken);
- daar afkoppelingsmaatregelen in de toekomst toch strikter zullen toegepast worden, ook voor gemengde rioolstelsels, zal door de stijging van de afvalwaterconcentratie de agressiviteit in het riool en de kans op afzettingen mogelijk toenemen. Het scheiden van de afvalwaterstroom in een aparte leiding (volgens een aangepast ontwerp en materiaalkeuze) zal de onderhoudskost voor de toekomst beperken.

Sinds 1996 verleent het Vlaams Gewest subsidies voor de aanleg van andere dan prioritaire rioleringen. Dit subsidiebesluit werd in de loop der jaren verscheidene malen aangepast. Een eerste update vond plaats in 1999, waarbij bijkomende eisen werden opgelegd aan de gemeenten t.a.v. het particulier domein en een differentiatie van het subsidiepercentage werd ingevoerd. In 2002 gebeurde de laatste wijziging, waarbij het subsidiepercentage verder werd gedifferentieerd (50% van de naakte rioleringskost voor gemengde stelsels, 75% voor gescheiden stelsels en 100% voor projecten met 2 DWA-leidingen). De kwaliteit van de aangelegde rioleringen wordt hierbij gewaarborgd door de toetsing van het dossier aan de "Code van Goede Praktijk" (VMM, 1996) en dit vanaf voorontwerpfase tot en met uitvoering van het project. De evaluatie van de op het subsidiëringprogramma in 2003 goedgekeurde voorontwerpen levert een duidelijk beeld van de verandering in subsidiëring (zie tabel 1.1). Gemengde stelsels worden niet langer gesubsidieerd. Meer en meer wordt er overgegaan naar (deels) gescheiden stelsels en 2 DWA-stelsels.

**Tabel 1.1 Kostprijsevaluatie van de voorontwerpen op het subsidiëringprogramma in 2003**

	Aantal dossiers	Aantal m straat	Gemiddelde totale kost per m straat	Gemiddelde rioleringskost per m straat
<b>Heraanleg</b>	23 (56,1%)	21374 (54,4%)		
Gemengd stelsel	0 (0,0%)	0 (0,0%)	-	-
Gescheiden stelsel	22 (53,7%)	21206 (54,0%)	1826 €/m	636 €/m
2 DWA stelsel	1 (2,4%)	168 (0,4%)	999 €/m	533 €/m
<b>Nieuwe riolering</b>	18 (43,9%)	17924 (45,6%)		
Gemengd stelsel	0 (0,0%)	0 (0,0%)	-	-
Gescheiden stelsel	13 (31,7%)	8540 (21,7%)	1472 €/m	695 €/m
2 DWA stelsel	5 (12,2%)	9384 (23,9%)	886 €/m	444 €/m
<b>TOTAAL</b>	41 (100%)	39298 (100%)		

### 1.3.2. Kosten ter hoogte van het zuiveringsstation

De omvang en bijgevolg ook de investeringskost van een rioolwaterzuiveringsinstallatie is in belangrijke mate afhankelijk van de aangevoerde vuilvracht en van de verdunningsgraad. De op het zuiveringsstation toekomende debieten worden voor gemengde stelsels in het algemeen beperkt tot 4 à 5 maal de droog weer afvoer. Door deze 4 à 5 maal hogere debieten in vergelijking met wat door een vuilwaterleiding van een gescheiden stelsel wordt aangevoerd, ontstaan hogere kosten op het zuiveringsstation: rioolwaterzuiveringsinstallaties moeten groter gedimensioneerd worden, moeten grotere debieten verpompen, het energieverbruik ligt hoger, de bedrijfsvoering wordt moeilijker en bijkomende installaties zijn nodig (bv. een zandvang).

## 1.4. Voorbereidingsfase

In de voorbereidingsfase van dergelijke aanpak aan de bron is het zeer belangrijk dat bewoners, architecten, technische diensten die zich bezighouden met ruimtelijke ordening, landschapsarchitecten en rioleringsdeskundigen gesensibiliseerd worden en samenwerken. Dit is belangrijk om positieve randvoorwaarden te scheppen om dergelijke projecten te doen slagen. Om hinder te voorkomen moet er onder andere voor volgende punten aandacht zijn:

- de controle van het maaiveldpeil;
- het vaststellen van de mogelijke infiltratiecapaciteit per perceel;
- het opstellen van perceelsoverschrijdende rechtsregels;
- het berekenen van straatgootprofielen met voldoende reserve, zodat – in functie van het gekozen profiel en de lengte- en de dwarshelling van de straten – er geen gevaar voor overstromingen op privé-eigendom ontstaat;
- het voldoende detailleren van de aansluiting van goten voor hemelwater dat van de percelen afstroomt, zodat overlast zoveel mogelijk beperkt wordt.

Wordt het water afgevoerd naar opvangbekkens met doorlatende wanden (over een gedeelte of over de volledige wandoppervlakte), dan is het aangewezen dat in deze bekvens reinigingsvoorzieningen worden aangebracht, zoals opvang- en afzettingsvoorzieningen voor af-

scheiding van minerale producten, kiezelfilters met rietbeplanting voor biologische afbraak en olie-afscidders.

De mogelijkheden tot infiltratie hangen sterk af van de doorlatendheid van de ondergrond. In een zandige grond kan de doorlatendheid tot 100 000 maal groter zijn dan in een kleigrond. Een humus toplaag gaat het dichtslibben van de infiltratievoorziening tegen. Een zuivere kiezelbodem laat het water dan weer te snel door, zodat verontreiniging van het grondwater kan optreden. De doorlatendheid van de bodem kan via eenvoudige testen ter plaatse (zie § 5.5.2) of in het labo worden bepaald. Geschikte bodems voor infiltratie zijn bodems met  $k_f$ -waarden tussen  $5 \cdot 10^{-3}$  tot  $5 \cdot 10^{-6}$  m/s (percolatiesnelheid).

## 1.5. Doelgroep van deze katern

Deze katern richt zich in hoofdzaak naar technische diensten (gemeenten, provincies, ontwerpers en architecten) met de bedoeling dat de in de katern opgenomen ideeën via deze kanalen verder aan de burger worden verspreid (bv. naar aanleiding van de inrichting van bouwpercelen) en tevens in concrete realisaties worden omgezet (bv. bij verkavelingen en grote bouw- of renovatieprojecten).

De katern tracht inzicht te verschaffen met betrekking tot afkoppelen, bufferen en infiltreren van hemelwater en dit voor private personen (individuele woningen), eigenaars, ontwerpers en uitvoerders van wegenis (privaat, industrie en overheid) en eigenaars, ontwerpers en uitvoerders van grote verharde oppervlaktes (voor privé, industrie en overheid).

## 1.6. Richtlijnen waarop afkoppeling, buffering en infiltratie gebaseerd zijn

Om een integrale herwerking van de "Code van Goede Praktijk" (VMM, 1996) voor te bereiden, werd door AMINAL, Afdeling Water een studieopdracht uitgeschreven die werd toegewezen aan de K.U.Leuven. Het Laboratorium voor Hydraulica (K.U.Leuven) vatte – in samenwerking met de Universiteit Antwerpen – de huidige stand van zaken samen in een uitgebreid tekstdocument (Vaes *et al.*, 2004a). Deze studie zal de basis vormen voor de herwerkte "Code van Goede Praktijk" en is te vinden op [http://www.mina.be/code\\_goede\\_praktijk.html](http://www.mina.be/code_goede_praktijk.html).

De richtlijnen die in deze katern worden vermeld, zijn gebaseerd op bovenvermelde studie. Grote delen m.b.t. afkoppelen, bufferen en infiltreren zijn dan ook in deze katern overgenomen. Er wordt hierbij gesteld dat afvalwater en hemelwater moeten worden gescheiden, tenzij dit technisch en/of economisch niet haalbaar is. Het belangrijkste is om de piekafvoer van afstromend hemelwater te beperken. Er moet naar worden gestreefd om het hemelwater voldoende lang ter plaatse te houden om een natuurlijke afstroming te benaderen. Dit betekent dat infiltratie en/of buffering de voorkeur genieten. Let wel, een infiltratievoorziening mag echter niet worden aangelegd in een beschermingszone 1 of 2 van een drinkwaterwingebied, zoals afgebakend ter uitvoering van het decreet van 24 januari 1984 houdende maatregelen inzake het grondwaterbeheer en het besluit van de Vlaamse regering van 27 maart 1985 houdende nadere maatregelen voor de afbakening van waterwingebieden en beschermingszones.

De katern volgt niet noodzakelijk de ontwerprichtlijnen zoals beschreven in de verschillende stedenbouwkundige verordeningen die opgesteld zijn door het gewest<sup>1</sup>, de provincies en de gemeenten. De katern is gebaseerd op de technische kennis die momenteel voorhanden is. Bijgevolg is de katern een technisch (en geen wettelijk) document.

<sup>1</sup> Zie het besluit van de Vlaamse regering van 1 oktober 2004 houdende vaststelling van een gewestelijke stedenbouwkundige verordening inzake hemelwaterputten, infiltratie-voorzieningen, buffervoorzieningen en gescheiden lozing van afvalwater en hemelwater (B.S. 08/11/2004). Deze gewestelijke stedenbouwkundige verordening hemelwater is terug te vinden op <http://www2.vlaanderen.be/ned/sites/ruimtelijk/vergunningen/water/water.htm>.

## 1.7. Toepassingsmogelijkheden

In principe zijn al de in deze katern beschreven constructieve bronmaatregelen toepasbaar op particulier, industrieel en openbaar domein. De dimensionering is zodanig opgesteld dat de afmetingen schaalbaar zijn met de grootte van het af te wateren oppervlak. Deze schaalbaarheid is van toepassing binnen bepaalde grenzen, namelijk zolang de afstromingstijd beperkt blijft en de afstroming op een gravitaire manier gebeurt zonder niet-lineaire controlestructuren. De afstromingstijd moet hierbij in de buurt van 10 minuten liggen. Bij grotere concentratietijden dient de concentratietijd specifiek in rekening gebracht te worden. Dit leidt tot een begrenzing van de toepassing van de basisregels voor gebieden tot ongeveer 10 ha. Voor grotere gebieden kunnen deze dimensioneringsregels ook nog worden toegepast, maar dan rekening houdend met de afvlakking ten gevolge van de afstroming (zie Vaes *et al.*, 2004a). Indien deze afvlakking niet in rekening wordt gebracht zullen buffervoorzieningen worden overgedimensioneerd. Voor afwateringsgebieden met een verharde oppervlakte van meer dan 10 ha kan een specifieke optimalisatiestudie tot een bijkomende besparing of optimalisatie van het bufferend effect leiden. De hier beschreven dimensioneringsregels zijn dus niet zonder meer toepasbaar op alle rioolstelsels en overstorten. Daarnaast kan de vervuilingsgraad ook een beperkende factor zijn.

## **2. Bronmaatregelen**

### **2.1. Algemeen**

Onder bronmaatregelen worden alle lokale, opwaartse maatregelen met betrekking tot hemelwaterafvoer gecatalogeerd, die vervuiling van het afstromend hemelwater voorkomen of de hydraulische piekbelasting van de afwatering verminderen, waardoor de afwateringssituatie van de individuele percelen zo goed mogelijk deze van de natuurlijke situatie benadert (Vaes *et al.*, 2004a).

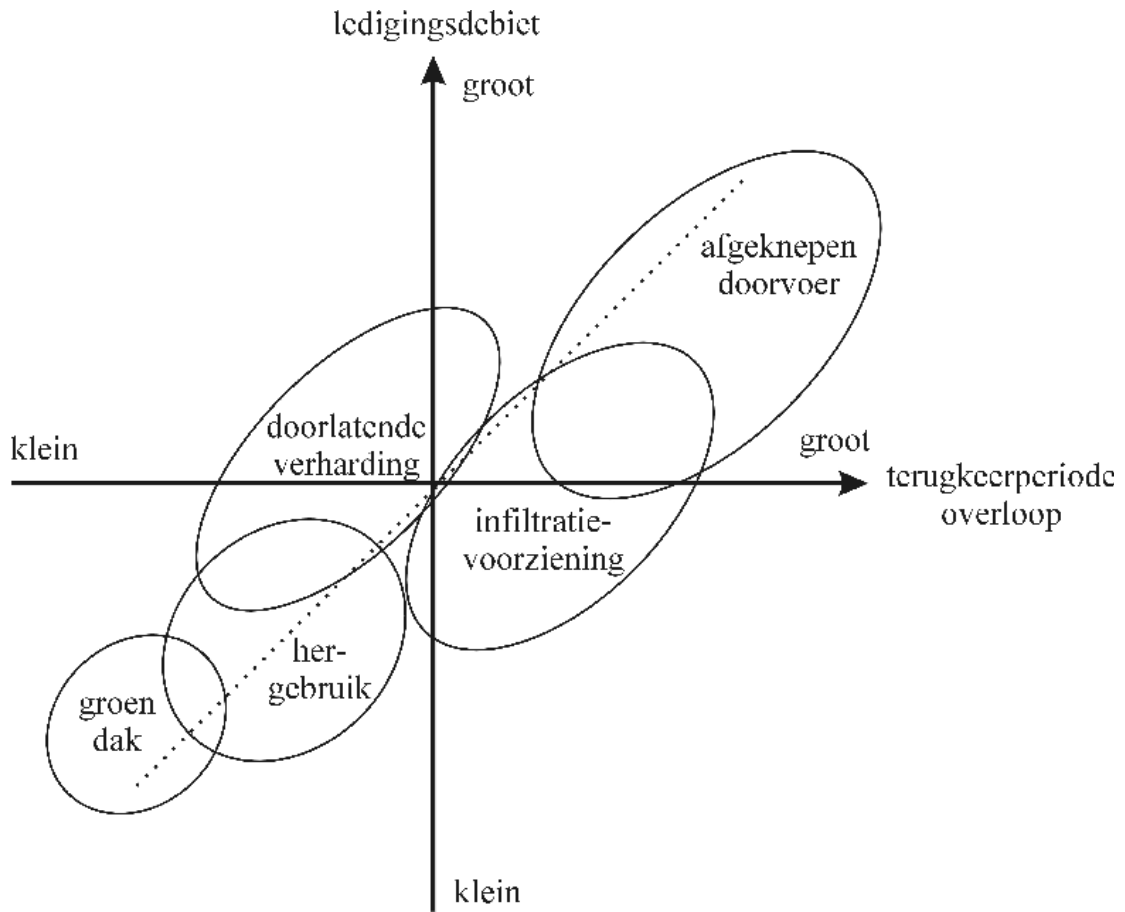
Verharde oppervlakte 'afkoppelen' van de riolering is op zichzelf nog geen bronmaatregel. Immers, bij neerslag dient de afvoer van deze verharde oppervlakte toch nog op een 'kunstmatige' manier te worden afgevoerd indien er geen echte bronmaatregelen worden genomen. De hydraulische piekbelasting van de afwatering wordt dus niet verminderd. Wat de hydraulica betreft, kan er van een bronmaatregel worden gesproken, indien er een bufferende werking is op de regenwaterafvoer.

Dit houdt in dat er een buffervolume moet zijn dat vertraagd geleidigd wordt en welke een (nood)overloop heeft waarlangs het water weg kan stromen wanneer het buffervolume vol is. Men kan immers geen enkel buffervolume ontwerpen dat voor om het even welke bui vol doet. Men dient dus een buffervolume te ontwerpen in functie van de terugkeerperiode van de overloop of deze nu frequent in werking treedt of zeer zelden. Men moet hoe dan ook kunnen verzekeren dat het water weg kan op het moment dat de overloop in werking treedt, tenzij de terugkeerperiode ervan zo groot wordt gekozen dat men bij een dergelijk zeldzaam fenomeen lokale overstromingen toestaat. In een dergelijk geval hoeft een buffervolume geen fysische overloop te hebben, omdat deze functie wordt vertolkt door de begrenzing van het buffervolume.

Een tweede voorwaarde is dat het buffervolume geleidelijk geleidigd moet kunnen worden. Een buffervoorziening die meestal vol staat heeft geen zin (dit is de reden waarom ledigingsdebieten kleiner dan 10 l/(s.ha) meestal niet zinvol zijn), terwijl een buffervoorziening die te snel terug geleidigd wordt, te weinig afvlakking van de piekafvoer geeft. Het leeglopen van het buffervolume kan worden gerealiseerd door infiltratie, een afgeknepen doorvoer, hergebruik enz. De buffering zelf kan ook op verschillende manieren worden uitgebouwd, bv. in een verlaagd gazon, een gesloten put, een open bekken, een ondergronds filterbed enz.

Tenslotte is het van belang dat de combinatie van de terugkeerperiode van de overloop en het ledigingsdebiet gekozen wordt in functie van de problemen die zich voordoen in het ontvangende watersysteem. Wil men enkel de piekdebieten naar omlaag halen, dan volstaat een kleiner buffervolume gekoppeld aan een groter ledigingsdebiet. Is de afvoercapaciteit van het ontvangende watersysteem beperkt (ook bij 'normaal' regenweer), dan kan er gekozen worden voor een groter buffervolume en een kleiner ledigingsdebiet.

In figuur 2.1 wordt een kwalitatieve indeling gegeven van de meest courante bronmaatregelen in functie van de (vertraagde) ledigingsdebieten en de terugkeerperiode van de overloop van de bronmaatregel in kwestie. Zo is bij een groendak zowel het ledigingsdebiet als de terugkeerperiode van de overloop vrij klein.



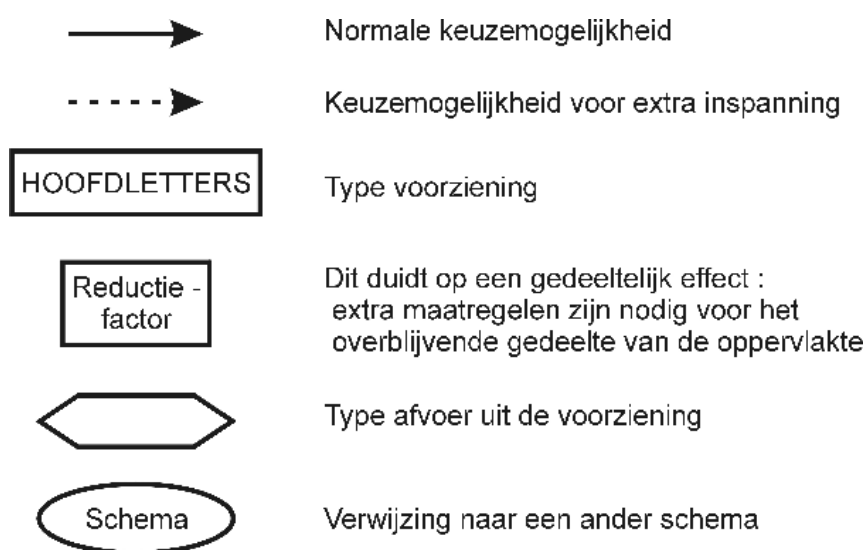
**Figuur 2.1** Kwalitatieve indeling van de meest courante bronmaatregelen (Vaes & Berlamont, 2004)

## 2.2. Toepassingschema's

Om na te gaan in welke omstandigheden welke bronmaatregelen kunnen worden toegepast, is een beslissingsboom uitgewerkt (Vaes *et al.*, 2004). Deze beslissingsboom is weergegeven in vier gekoppelde schema's :

- Schema 1: Regenwaterafvoer van dakoppervlakken (figuur 2.3)
- Schema 2: Regenwaterafvoer van verharde oppervlakken andere dan dakoppervlakken (figuur 2.4)
- Schema 3: Infiltratievoorzieningen (figuur 2.5)
- Schema 4: Piekafvoer (figuur 2.6)

In figuur 2.2 is de legende bij deze vier schema's weergegeven.



**Figuur 2.2** Legende bij de beslissingschema's met betrekking tot bronmaatregelen (Vaes *et al.*, 2004a)

### 2.2.1. Schema 1: Regenwaterafvoer van dakoppervlakken

Figuur 2.3 toont het beslissingschema voor de hemelwaterafvoer van dakoppervlakken (schema 1). Vertonen afzonderlijke dakgedeelten een verschillende karakteristiek, dan kan het schema op elk van de afzonderlijke delen worden toegepast.

Heeft het betreffende dak(gedeelte) een gebruiksfunctie, d.w.z. wordt het gebruikt als terras of tuin, dan is het beter om het water niet te gebruiken in het huishouden en wordt het van het dak afstromende hemelwater bij voorkeur naar een infiltratievoorziening geleid (zie schema 3 – figuur 2.5).

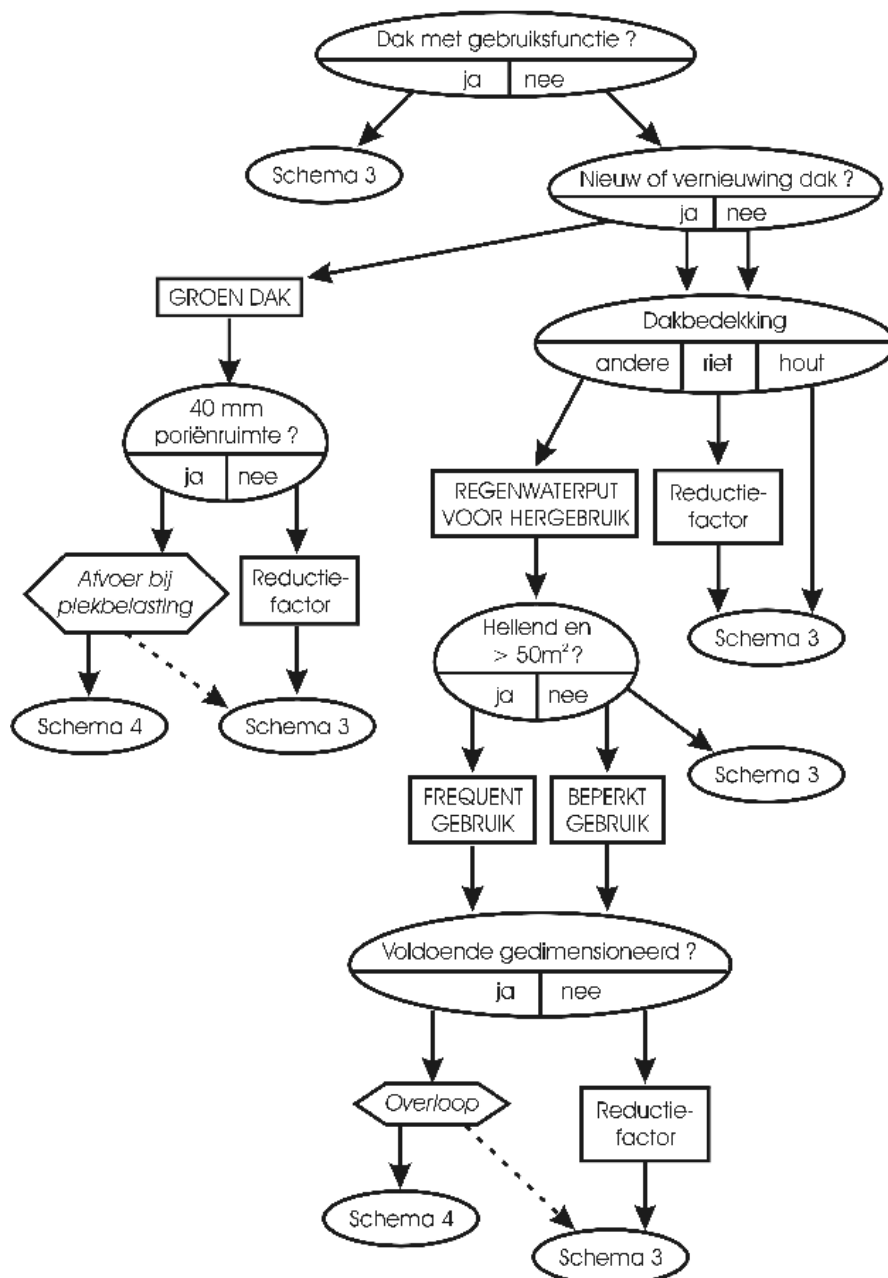
Bij nieuwbouw of bij vernieuwing van een dak kan men opteren voor een groendak. Dit is een dak met een lichte begroeiing dat zowel op een plat als op een hellend dak kan worden uitgevoerd, maar niet toegankelijk is (zie § 4.1). Omdat een groendak een afvlakkend effect heeft, mag de bergingscapaciteit gereduceerd worden met 20 %. Een groendak heeft dus eenzelfde bufferend vermogen als een hemelwaterput van 5000 l per 100 m<sup>2</sup> dakoppervlakte indien er een bergingscapaciteit van 40 mm in het groendak wordt voorzien<sup>1</sup>. Dit komt overeen met

<sup>1</sup> bergingscapaciteit [mm] = poriënvolume [m<sup>3</sup>] / dakoppervlakte [m<sup>2</sup>] \* 1000 [mm/m]



een poriënvolume van 4 m<sup>3</sup> per 100 m<sup>2</sup> dakoppervlakte. Indien deze bergingscapaciteit niet beschikbaar is, kan men voor het resterende deel een infiltratie- of bufferingvoorziening bouwen (zie schema 3 – figuur 2.5). Indien men wel voldoende buffercapaciteit heeft, kan men nog altijd de dakafvoer naar een infiltratie- of buffervoorziening leiden (schema 3 – figuur 2.5), omdat er toch nog een frequente afvoer (overloop) is. Men kan er ook voor kiezen om deze overloopgebeurtenissen zonder verdere buffering af te voeren (schema 4 – figuur 2.6).

SCHEMA 1 : REGENWATERAFVOER VAN DAKOPPERVLAKKEN



Figuur 2.3

Beslissingsschema voor de hemelwaterafvoer van daken (schema 1; Vaes *et al.*, 2004)

Vanuit hygiënisch oogpunt en om aanzanding van de hemelwaterput te vermijden, wordt de afloop van het groendak best niet afgeleid naar een hemelwaterput en wordt het water best niet gebruikt in het huishouden.

Indien de dakbedekking hout of riet is, is het beter om het water niet te gebruiken in het huishouden. De dakafvoer kan naar een infiltratie- of buffervoorziening worden geleid (schema 3 – figuur 2.5). Omdat een rieten dak een zekere afvoeravflakking met zich meebrengt, mag bij een rieten dak de dakoppervlakte in principe tot 80 % herleid worden voor de dimensionering van de infiltratievoorziening (analoog aan de redenering van een groendak).

Een hemelwaterput met hergebruik is vooral effectief indien er een voldoende grote dakoppervlakte en een beperkte hoeveelheid verliezen zijn. Een hemelwaterput is ook enkel zinvol indien het water ook effectief gebruikt wordt. Indien de dakoppervlakte kleiner is dan 50 m<sup>2</sup>, kan er slechts een beperkt hergebruik zijn. Bij platte daken kunnen er heel wat verliezen zijn, waardoor er meer dakoppervlakte nodig is om hetzelfde effect te bekomen dan met een hellend dak (alhoewel bij gehelde daken ook de oriëntatie van het dak een grote rol kan spelen). Indien men bij een te kleine effectieve dakoppervlakte (d.i. dakoppervlakte vermenigvuldigd met de verliescoëfficiënten) opteert om geen hemelwaterput met hergebruik te installeren, dan kan de dakafvoer naar een infiltratie- of buffervoorziening worden geleid (schema 3 – figuur 2.5).

De dimensionering van een hemelwaterput kan gebeuren overeenkomstig de methode beschreven in § 5.3. Er is echter een minimaal putvolume van 5000 l per 100 m<sup>2</sup> horizontale dakoppervlakte vereist om zo een optimaal bufferend effect te bekomen. Indien het putvolume kleiner is dan dit minimum, dan kan het resterende gedeelte naar een infiltratie- of buffervoorziening worden geleid (schema 3 – figuur 2.5). Indien het putvolume wel voldoet aan de minimale eisen, dan kan nog altijd de overloop van de hemelwaterput naar een infiltratie- of buffervoorziening geleid worden (schema 3 – figuur 2.5), omdat er toch nog een frequente afvoer (overloop) is. Men kan er ook voor kiezen om deze overloopgebeurtenissen zonder verdere buffering af te voeren (schema 4 – figuur 2.6).

### *2.2.2. Schema 2: Regenwaterafvoer van verharde oppervlakken andere dan dakoppervlakken.*

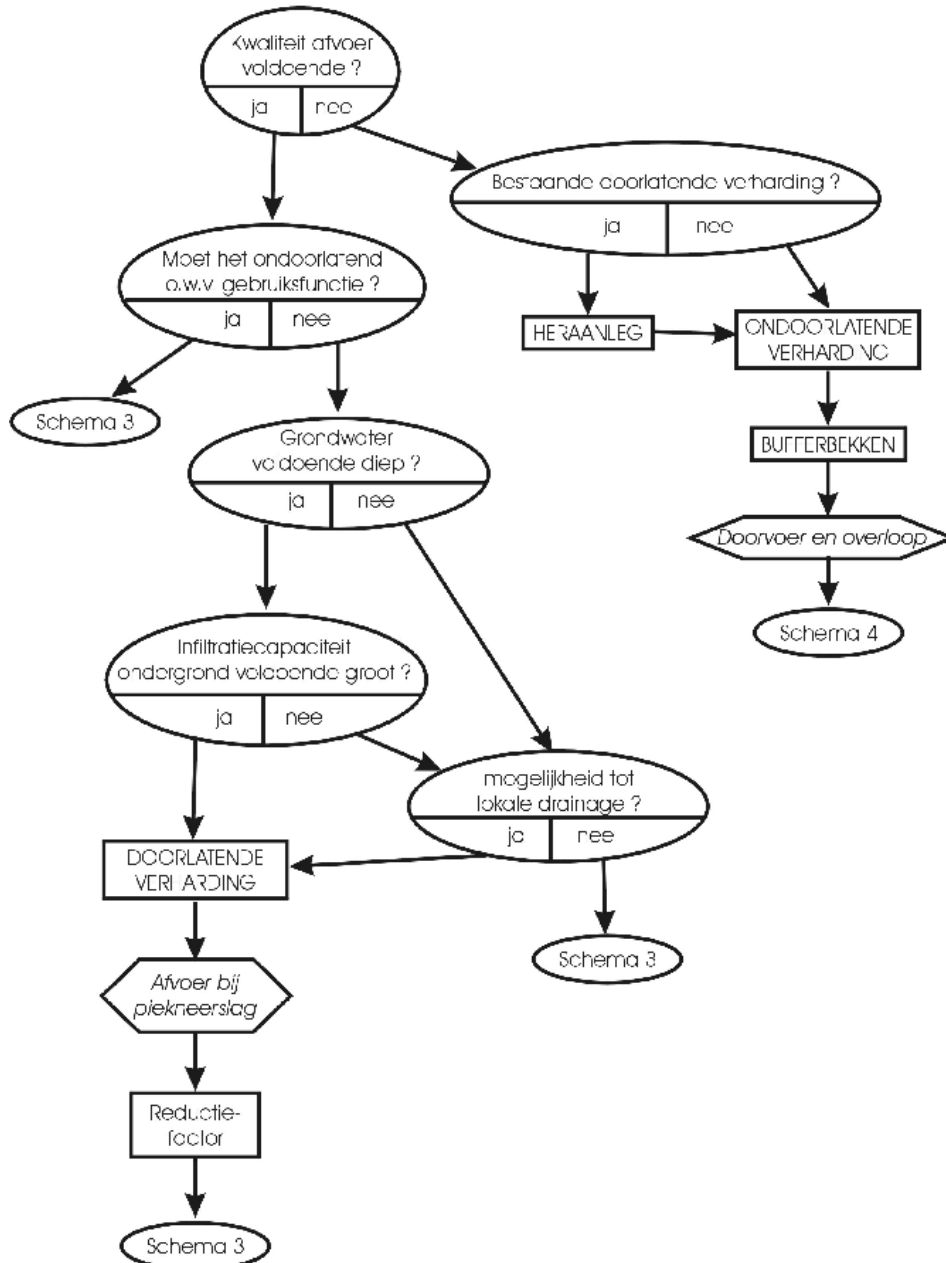
Figuur 2.4 toont het beslissingsschema voor de hemelwaterafvoer van verharde oppervlakken, andere dan dakoppervlakken (schema 2).

Indien de waterkwaliteit van het afstromende regenwater onvoldoende is (zie § 2.3) en er een bestaande doorlatende verharding is, dan dient een heraanleg tot ondoorlatende oppervlakte te worden overwogen. Indien de waterkwaliteit onvoldoende is en er is een bestaande ondoorlatende verharding aanwezig, dan dient een bufferbekken te worden gebouwd (zie hoofdstuk 4). De afvoer vanwege de overloop van het bufferbekken moet voorzien zijn, zodat er geen lokale overstromingen optreden (schema 4 – figuur 2.6), tenzij de terugkeerperiode aanvaardbaar hoog is en een lokale overstroming aanvaardbaar is.

Indien de gebruiksfunctie een ondoorlatend oppervlak vereist, kan een infiltratie- of buffervoorziening worden aangelegd (schema 3 – figuur 2.5). In het andere geval kan een doorlatende verharding worden aangelegd, tenminste als het grondwater voldoende diep zit en de infiltratiecapaciteit van de ondergrond voldoende groot is (zie § 5.5). Wanneer dit niet het geval is, kan een lokale drainage er toch nog voor zorgen dat een doorlatende verharding kan worden aangelegd. Bij een doorlatende verharding is er meestal nog steeds een vrij frequente neerslagafvoer. Deze neerslagafvoer is een functie van de helling en de aard van de doorlatende verharding, alsook van de infiltratiecapaciteit van de ondergrond (inclusief de onderbouw van de verharding) en de grondwaterstand. De resterende neerslagafvoer kan naar een

infiltratie- of bufferbekken worden geleid (schema 3 – figuur 2.5), waarbij een reductiecoëfficiënt op de aangesloten verharde oppervlakte wordt toegepast.

SCHEMA 2 :  
REGENWATERAFVOER VAN VERHARDE OPPERVLAKKEN ANDERE DAN DAKOPPERVLAKKEN

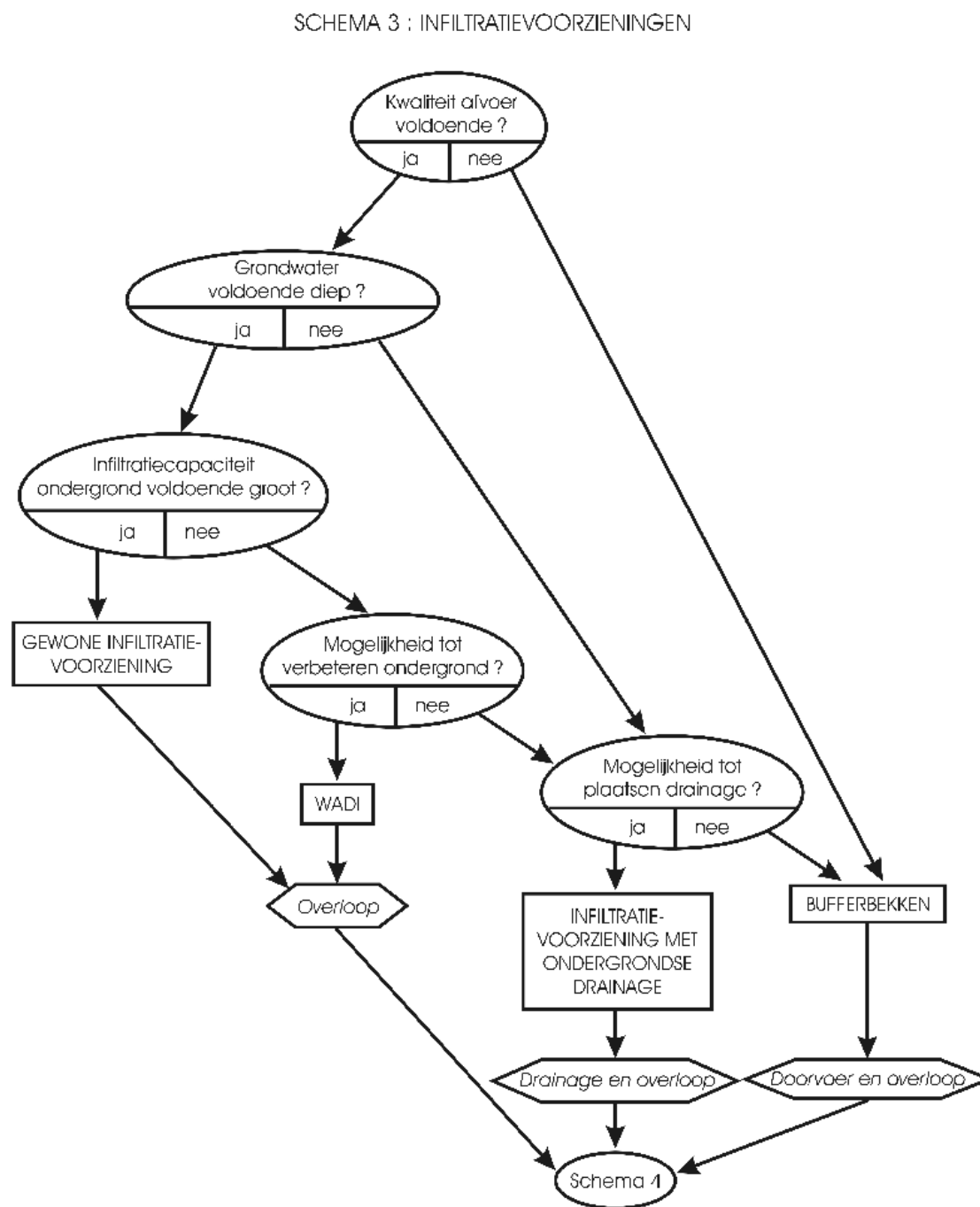


Figuur 2.4

**Beslissingsschema voor de hemelwaterafvoer van verharde oppervlakken andere dan dakoppervlakken (schema 2; Vaes *et al.*, 2004)**

2.2.3. *Schema 3: Infiltratievoorzieningen.*

Figuur 2.5 toont het beslissingschema voor infiltratievoorzieningen (schema 3).



**Figuur 2.5 Beslissingschema voor infiltratievoorzieningen (schema 3; Vaes *et al.*, 2004)**

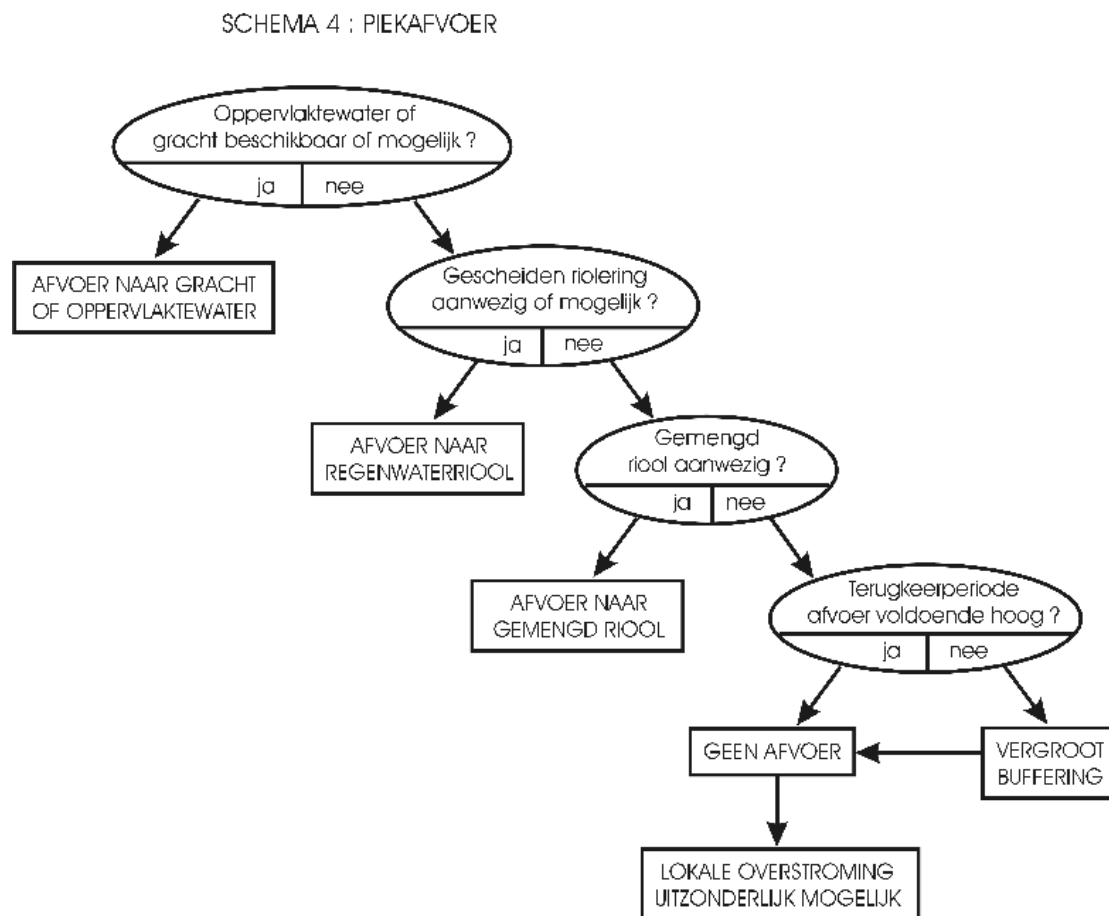
Indien de kwaliteit van het afgevoerde regenwater niet voldoet, kan enkel een bufferbekken worden gebouwd. Voor de overloop van het bufferbekken moet een afvoer voorzien zijn, zodat er geen lokale overstrooming kan optreden (schema 4 – figuur 2.6), tenzij de terugkeerperiode aanvaardbaar hoog is en lokale overstroomingen aanvaardbaar zijn. Indien het grondwater voldoende diep zit en de infiltratiecapaciteit van de ondergrond voldoende groot is, kan

een gewone bovengrondse infiltratievoorziening worden aangelegd. Indien de infiltratiecapaciteit te klein is en er de mogelijkheid is om de ondergrond te verbeteren, kan een goed doorlatende laag met veel poriënruimte onder de infiltratievoorziening worden aangelegd (wadi). Indien verbetering van de ondergrond onmogelijk is of een te beperkt effect heeft (bijvoorbeeld door een te hoge grondwaterstand), kan ondergrondse drainage worden toegepast. Indien ook dit niet mogelijk is, dient er een bufferbekken te worden aangelegd.

Er moet steeds een afvoer voor het overlopen van deze infiltratie- en buffervoorzieningen voorzien zijn, zodat er geen lokale overstromingen optreden (schema 4 – figuur 2.6), tenzij de terugkeerperiode aanvaardbaar hoog is en lokale overstromingen aanvaardbaar zijn. Belangrijk is ook dat men voldoende afstand houdt van waterdoorlatende kelders of de nodige maatregelen neemt om doorsijpeling te voorkomen.

#### 2.2.4. Schema 4: Piekafvoer

Figuur 2.6 toont het beslissingsschema voor de piekafvoer (schema 4). De afvoer vanwege overlopen van groendaken, hemelwaterputten, infiltratie- en buffervoorzieningen dient te worden verzekerd zonder lokale overstromingen te veroorzaken of voor een voldoende grote terugkeerperiode. Ook de doorvoer van buffervoorzieningen of de drainage van verbeterde infiltratievoorzieningen dienen volgens dit schema te worden afgeleid.



Figuur 2.6

Beslissingsschema voor piekafvoer (schema 4; Vaes *et al.*, 2004)

De lozing gebeurt preferentieel volgens onderstaande rangorde indien een dergelijk afvoersysteem aanwezig of mogelijk is :

- gracht of oppervlaktewater;
- regenwaterriool van een gescheiden rioleringsysteem;
- gemengd riool.

Indien er geen afvoersysteem aanwezig of mogelijk is, kunnen er uitzonderlijk lokale overstromingen ontstaan. Dit is enkel aanvaardbaar als de terugkeerperiode van de overloop van het bufferingssysteem voldoende groot is en de overlast ten gevolge van de lokale overstroming beperkt is. Als dit niet het geval is, dan dient de buffercapaciteit te worden uitgebreid. Voor de afvoer van daken dient de piekafvoer altijd verzekerd te zijn.

## 2.3. Kwaliteit afstromend hemelwater

Grondwateroverlast en verontreiniging van het oppervlaktewater, de bodem en/of het grondwater kunnen minder positieve effecten van afkoppeling zijn. Per specifiek geval dient men daarom steeds enig vooronderzoek uit te voeren en de nodige afwegingen te maken.

### 2.3.1. Daken

Tabel 2.1 geeft een ruwe vergelijkingsbasis voor uitlogingsrisico's van verschillende dakbedekkingsmaterialen. Meer gegevens hierover kan men in de gespecialiseerde literatuur terugvinden.

**Tabel 2.1** Vervuilingspotentieel voor verschillende dakbedekkingsmaterialen

dakbedekking en afvoergoten – leidingen	vervuilingspotentieel
vegetatiedaken, daktuinen	geen
glas	geen
gebakken pannen	geen
betonnen dakbedekking	gering
kunststoffen	gering
asfaltpapier	gemiddeld
vezelbeton	gemiddeld
asbestcement	gemiddeld
koper	hoog
zink	hoog
lood	hoog

Indien er voor de dakbedekking, dakgoten en regenpijpen geen materialen gebruikt worden die door uitloging verontreinigende stoffen afgeven en er geen chemische stoffen gebruikt worden (onder andere voor mosbestrijding), dan wordt het afstromende hemelwater beschouwd van dezelfde kwaliteit te zijn als de regen zelf. De kwaliteit van het water afkomstig van dakterrassen is afhankelijk van hoe dikwijls het dakterras gebruikt wordt en de manier waarop het gereinigd wordt.

### 2.3.2. Wegen

Bij wegen met veel verkeer bevat het afstromend hemelwater verhoogde concentraties zware metalen en organische microverontreinigingen (bijvoorbeeld olie). Een voorbehandeling bij afkoppelingsmaatregelen bestaat erin klassieke straatkolken van het baktype te voorzien die nu al dienst doen als zandvang en koolwaterstofafscheider. Deze straatkolken moeten wel regelmatig worden leeggezogen (voor behandeling van kolkenlib zie document van VLARIO vzw, Werkgroep 7).

In drukke winkelstraten, marktpleinen en straten in uitgangsbuurtten worden de winkels, de cafés en de straat regelmatig gereinigd, zodat deze straten minder in aanmerking komen voor afkoppeling.

Bij straten met rustig verkeer bevat het afstromend hemelwater verontreinigingen welke kunnen geminimaliseerd worden onder andere door :

- vaker vegen van de straten;
- geen auto's meer te wassen met afvoer naar het regenwaterriool;
- het vuile waswater van allerhande poetsbeurten niet meer op de straten af te voeren;
- selectiever strooien van dooizout in de winter.

Door een verbeterd gescheiden stelsel te voorzien wordt de eerste vuilstoot bij het begin van de regen nog afzonderlijk naar het vuilwaterriool gebracht. Pas bij hogere debieten en na zekere tijd wordt dan het hemelwater van verharde oppervlakken naar het regenwaterriool afgevoerd.

### *2.3.3. Parkeerterreinen*

Bij sporadisch gebruikte parkeerterreinen zal de kwaliteit van het afstromend hemelwater in het algemeen goed zijn.

Bij frequent gebruikte parkeerterreinen gelden ongeveer dezelfde voorwaarden als voor wegen met veel verkeer. Een voorbehandeling is nodig, directe infiltratie is dan niet aan te bevelen.

Parkeerterreinen voor vrachtwagens en bussen zullen meer verontreinigingen van olie en diesel bevatten. Hierdoor dringt een voorbehandeling zich op, net zoals voor frequent gebruikte parkeerterreinen.

### *2.3.4. Andere grote oppervlakken*

Andere dan hierboven genoemde grote oppervlakken dient men geval per geval te beoordelen:

- stapelplaatsen in open lucht (bijvoorbeeld haventerreinen): te beoordelen zoals parkeerterreinen en steeds afhankelijk van wat er gestapeld wordt;
- benzinestations: zoals parkeerterreinen voor vrachtwagens met bijzondere aandacht voor koolwaterstofafscheiding;
- vliegvelden: start-, landings- en taxibanen zijn met betrekking tot vervuiling te beschouwen als verkeersintensieve wegen maar met minder stof. Parkeerplaatsen moeten als tankplaatsen worden beschouwd. Waar vliegtuigen worden gewassen en ontijst moet het afstromend water minstens worden voorbehandeld.





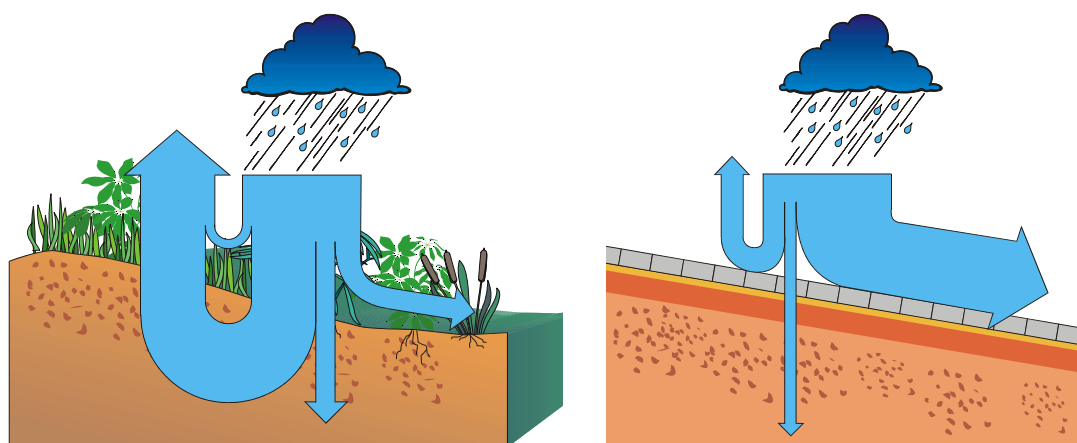
### 3. Types infiltratievoorzieningen

#### 3.1. Onmiddellijke infiltratie vanaf het oppervlak in de ondergrond

##### 3.1.1. Algemeen

Het rechtstreeks laten infiltreren in de ondergrond is een zeer efficiënte en goedkope manier van bergen en afkoppelen, niet in het minst doordat de regen dicht bij de bron opgevangen wordt. Daarom dient men met het oog op de afkoppeling van regenwater zoveel mogelijk van deze vorm van infiltratie gebruik te maken. Een extra bergingsvolume kan worden voorzien door middel van een waterdoorlatende funderingskoffer. Bij aanleg van een bestrating in waterdoorlatende betonstraatstenen (poreuze, met verbrede voeg of met drainageopening) wordt deze steeds voorzien. Om de buffercapaciteit te vergroten kan mogelijk een dikkere laag aangelegd worden, bijvoorbeeld in het geval van steenslag- of dolomietverhardingen. Eventueel kan regenwater dat op verharde oppervlakken valt, afgeleid worden naar nabijgelegen infiltratieoppervlakken.

Afwatering via onverharde oppervlakken kan als de meest natuurlijke manier van regenwaterafvoer beschouwd worden. De gevolgen van de menselijke activiteit (wonen, werken, ...) betekenen in vele gevallen dat oppervlakken verhard worden, met een grotere en snellere afvoer tot gevolg (zie figuur 3.1).



**Figuur 3.1**

Infiltratie in de ondergrond kan rechtstreeks gebeuren op de kale grond of kan gebeuren na het aanbrengen van een bedekking zoals dolomietverhardingen, steenslagverhardingen of waterdoorlatende bestratingen (drainerend asfalt, waterdoorlatende straatstenen, ...). In dit laatste geval dient steeds een fundering aangelegd te worden om de stabiliteit van de structuur te verzekeren, zowel naar draagkracht, maar ook naar vorstbestendigheid. Het is van belang dat deze fundering ook waterdoorlatend is zodanig dat het water de ondergrond bereikt en kan infiltreren.

#### **A. Ontwerp**

De toepassing van onmiddellijke infiltratie is volledig gelijklopend voor private personen, voor wegen en voor grote verharde oppervlakken. Daarom wordt in de verdere beschrijvingen van dit hoofdstuk geen onderscheid meer gemaakt voor deze verschillende doelgroepen. Afhankelijk van het type bedekking kan men deze oppervlakken voor meerdere doeleinden gebruiken bijvoorbeeld bij reddingswegen, parkwegen, opritten, woonerven, wandelwegen, fietspaden, sportterreinen, parkeerplaatsen, groene zones, brandweerdoorritten, recreatieterreinen, kerkhoven, ... Gezien de vaak grote porositeit van de structuren dient de verkeersbelasting be-

perkt te blijven. Wat technische uitvoering betreft, kan men een onderscheid maken tussen oppervlakken met en oppervlakken zonder grasbegroeiing (zie tabel 3.1).

**Tabel 3.1 Voor infiltratie geschikte oppervlaktafwerking**

<b>met (gras)begroeiing</b>	<b>zonder (gras)begroeiing</b>
verharding met polyethyleen grastegels	steenslagverharding (puingranulaat, grind, schelpen, ...)
grasbetontegels	dolomietverharding
gras gemengd met kiezel	drainageasfalt
	waterdoorlatende bestrating: poreuze betonstraatstenen, betonstraatstenen met afstandhouders (verbrede voegen) en betonstraatstenen met drainage-openingen
	mulchbedekking (schors, gehakseld hout, ...)

Het voordeel van onmiddellijke infiltratie in met gras begroeide verhardingen (bv. grasbetontegels) is dat het regenwater door een biologisch actieve zone migreert en een zekere mate van reiniging kan ondergaan voor zover deze oppervlakken zelf rein blijven. Ook kan men door het aanbrengen van stapstenen de hoge doorlatendheid van grasperken optimaliseren.

## B. Voorwaarden

Voor de verschillende systemen gelden een aantal gelijklopende voorwaarden voor een goede werking.

- De bovenafwerking en de ondergrond dienen voldoende doorlatend te zijn, zodat het regenwater niet blijft stagneren. Het grondwater moet zich bovendien voldoende diep onder deze oppervlakken bevinden (minimum 0,7 m). Indien het regenwater niet voldoende snel in de ondergrond kan doordringen, dan zal de oppervlaktafwerking deels als buffer-volume dienst doen. Eens de buffercapaciteit benut is, zal er plasvorming ontstaan. Indien de plasvorming maatschappelijk en/of technisch (verminderde draagkracht) onaanvaardbaar is, dan kan men een bijkomende afwatering voorzien en zo mogelijk een dikker doorlatende fundering aanbrengen of ondoorlatende lagen doorbreken. Met een steenslagbed met korrelgroottesamenstelling 2/32 tot 8/32 en 2/45 is goede ervaring opgedaan.
- Wordt regenwater van verharde oppervlakken naar dergelijke infiltratievlakken gebracht, dan dient men ervoor te zorgen dat de toevoer gelijkmatig gebeurt over deze oppervlakken.
- Het berijden met zwaardere voertuigen moet men beperkt houden om zo sterke bodemverdichting te voorkomen. Verkeerssnelheid en verkeersbewegingen moeten beperkt blijven, rekening houdend met een verminderde draagkracht van de waterdoorlatende structuur. De structuur van waterdoorlatende bestratingen wordt verder besproken en is gedetailleerd weergegeven in de brochure "Waterdoorlatende verhardingen" van FEBESTRAL (<http://www.febe-febestral.be>).
- Ook het aspect vorstgevoeligheid moet worden overwogen. Onder bepaalde omstandigheden kan bij plots opkomende vorst het water onder de doorlatende verharding opvriezen en de verharding beschadigen. Bestaat dit gevaar dan moet onder de deklaag een niet-vorstgevoelige onderfundering voorzien worden. De omstandigheden waarin zulke bijkomende laag vereist is, zijn weergegeven in tabel 3.2 in functie van:
  - D, de dikte van de verharding, fundering, onderfundering;
  - V, de vorstindringdiepte (afhankelijk van de plaats in Vlaanderen);
  - W, de diepte van de grondwaterspiegel.

**Tabel 3.2 Vorstgevoeligheid van gronden**

	V < D < W W > 1,4 m	D < V < W W > 1,4 m	W < 1,4 m
niet-vorstgevoelige grond	geen probleem	geen probleem	geen probleem
matig vorstgevoelige grond	geen probleem	<b>probleem</b>	<b>probleem</b>
zeer vorstgevoelige grond	geen probleem	<b>probleem</b>	<b>probleem</b>

Of een grond vorstgevoelig is, hangt af van zijn fijnheid. Zeer fijne (klei, leem) en fijne gronden (fijne zanden) zijn zeer tot matig vorstgevoelig. Grovere gronden (middelmatig/grof zand) zijn over het algemeen niet vorstgevoelig. De diepte tot waar de onderfundering moet reiken is afhankelijk van een aantal factoren. Algemeen kan gesteld worden dat deze varieert van 40 tot 65 cm. De meeste waterdoorlatende bestratingen worden hoe dan ook uitgevoerd met vorstgevoelig materiaal zodat dit probleem zich niet stelt. Bovendien is de vorstgevoeligheid van doorlatende gronden ook veel kleiner in vergelijking met niet-doorlatende gronden.

### C. Combinatiemogelijkheden

Bezitten de infiltratie-oppervlakken en de ondergrond te weinig doorlatend vermogen, dan kan men het hemelwater afleiden naar andere doelmatigere infiltratievoorzieningen of bekens (bijvoorbeeld ondiepe kommen, drainagebuizen, infiltratiebuizen, bufferbekkens of een combinatie van buffer- en infiltratiebekkens). Een gelijkmatige aanvoer naar deze voorzieningen dient men te garanderen vooral bij hellende oppervlakken (bijvoorbeeld via boordstenen met V-vormige verdeelopeningen). Andere mogelijkheden om het infiltrerend vermogen te verbeteren zijn: diepploegen, doorbreken van ondoorlatende lagen, vergroten van de drainagekoffer (bijvoorbeeld met puingranulaat of geëxpandeerde korrels).

### D. Voordelen

De meeste toepassingen zijn vrij eenvoudig aan te brengen. In het geval van drainerend asfalt en waterdoorlatende stenen dient een doorlatende fundering voorzien te worden. Deze kan tevens als buffering gebruikt worden.

### E. Nadelen

Nadelen van onmiddellijke infiltratie in de ondergrond kunnen zijn:

- een te beperkte of in de tijd afnemende doorlatendheid;
- mogelijke verontreiniging van het grondwater wanneer het toegevoerde water of de oppervlakken zelf vervuild zijn;
- de verminderde draagkracht omwille van de open structuur vormt een beperking voor het toelaten van verkeer.

### 3.1.2. *Oppervlakte-afwerking met begroeiing*

#### **A. Beschrijving**

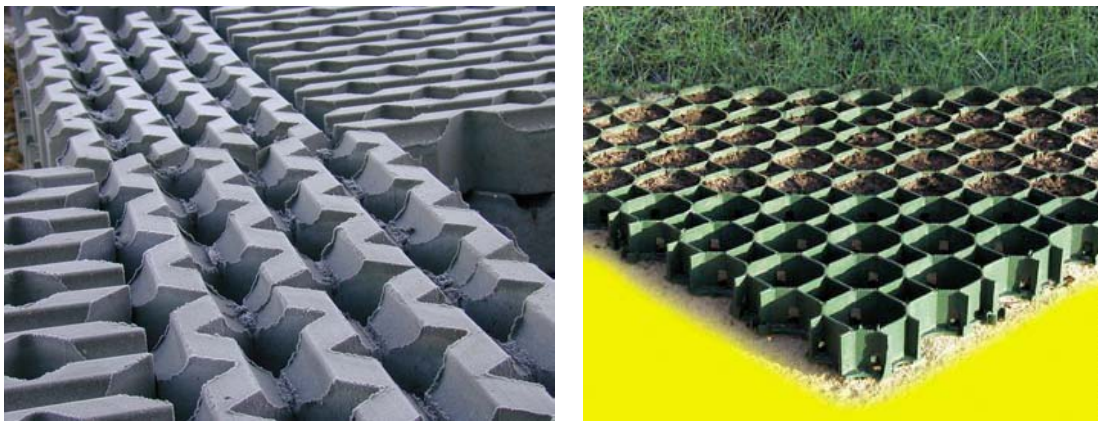
##### Grasbetontegels

Grasbetontegels zijn betonstenen met openingen, waartussen gras kan groeien. Ze lenen zich uitstekend voor de aanleg van opritten, parkeerplaatsen, brandwegen, tuin- en parkpaden.

Een technische beschrijving is te vinden in het standaardbestek 250 onder VI-4.4. De grasbetontegels zijn verkrijgbaar in vele uitvoeringen.

De dimensionering van de lagen is afhankelijk van de verwachte bovenbelasting. Een voorbeeld van plaatsingsvoorschrift, ontleend aan een leverancier van grasbetontegels, bestaat uit:

- een vaste ondergrond;
- 30 cm fundering van grind 0/40;
- 15 cm onderlaag van 50 % lichte tuinaarde en 50 % geëxpandeerde kleikorrels 10/16;
- grasdallen en deze opvullen met een mengsel van 1/3 lichte teelaarde, 1/3 geëxpandeerde klei 10/16 en 1/3 turf en 3 kg graszaad per m<sup>2</sup> en dit goed inkeren.



**Figuur 3.2**

##### Kunststofgrastegels

Polyethyleen grastegels worden vervaardigd uit gerecycleerd polyethyleen met hoge dichtheid. Het gras groeit tussen de openingen. De openingen zijn goed voor 95% van het oppervlak, zodat de tegels nagenoeg onzichtbaar worden.

De platen zijn bijzonder licht, waardoor ze gemakkelijk geplaatst kunnen worden. Zij worden onderling met elkaar verbonden. Dit is een robuust systeem, geschikt voor opritten en parkings. De mogelijkheid bestaat de openingen op te vullen met diverse grind- en kiezelsoorten.

Een opbouw ontleend aan een leverancier van grastegels in HDPE:

- 15 à 20 cm fijn steenslag, goed verdicht;
- 5 cm zand, genivelleerd;
- opvulling, analoog aan grasbetondallen.

## B. Voorwaarden

Analoog aan waterdoorlatende bestratingen.

## C. Voordelen

Een groen uitzicht wordt gecombineerd met een stabiele ondergrond.

## D. Nadelen

Olieresten van geparkeerde auto's kunnen het grondwater vervuilen. Het gebruik van welbepaalde grassoorten kan een reinigend effect hebben. Intens gebruik bemoeilijkt de grasgroei.

## E. Parameters voor het ontwerp

Verkeers- en andere belastingen, verhardingspercentage, doorlatendheid van de ondergrond en eventueel de grootte van het toevoerend oppervlak.

Laagsgewijze opbouw met fundering (steenslag), onderlaag (met teelaarde en geëxpandeerde kleikorrels), een legbed en vervolgens de eigenlijke grasbetontegels welke opgevuld worden met teelaarde die vervolgens wordt ingezaaid met graszaad.

## F. Materialen en aanleg

Zie standaardbestek 250 onder VI-4.4.

## G. Beheer

Maaien van gras.

### 3.1.3. *Oppervlakte-afwerking zonder begroeiing*

#### A. Beschrijving

Waterdoorlatende straatstenen kunnen verschillende vormen aannemen. Algemeen kunnen ze ingedeeld worden in poreuze straatstenen, straatstenen met verbrede voegen en straatstenen met drainage-openingen. De plaatsing en het concept van aanleg voor deze stenen is in grote mate voor alle types gelijk. De keuze wordt bepaald volgens de toepassing. Zo zal er voor een fietspad bij voorkeur gekozen worden voor poreuze straatstenen in plaats van straatstenen met verbrede voegen. Dit om de fietser zo min mogelijk te hinderen.



**Figuur 3.3**

Het totale volume waardoor het water kan stromen is van belang. Dit dient minimaal gelijk te zijn aan 10 % van de totale oppervlakte om een goede doorlatendheid te bekomen. In het geval van straatstenen met drainageopeningen zijn bepaalde type stenen voorzien van bijkomende kanaaltjes (onderaan de steen) om een goede spreiding van het water in het legbed te bekomen.

## B. Voorwaarden

Het plaatsen van waterdoorlatende straatstenen veronderstelt tevens het plaatsen van een doorlatend zandbed, fundering en (indien nodig) onderfundering. Een overzicht van mogelijke structuren is weer te vinden in de brochure "Waterdoorlatende verhardingen" van FEBESTRAL. Als fundering kan gebruik gemaakt worden van granulaten met een kleine fractie fijn materiaal (0/32,2/20,2/32,0/45, ...) of van drainerend schraal beton. Steeds dient een compromis gezocht te worden tussen doorlatendheid en stabiliteit. Gezien de grote porositeit dient deze toepassing beperkt te worden tot plaatsen met weinig tot matig verkeer.

Er wordt gestreefd naar een doorlatendheid van de straatstenen en/of voegen en van de fundering gelijk aan  $5,4 \cdot 10^{-5}$  m/s (om een regenintensiteit van 270 l/(s.ha) te laten infiltreren). Voor de voegvulling wordt hiertoe in het geval van stenen met verbrede voegen of met drainage-openingen een korrelsamenstelling van 1/3 tot 2/5 verkozen. Er wordt aangeraden om steeds een bijkomende waterafvoermogelijkheid te voorzien om rekening te houden met mogelijke verminderingen in doorlatendheid omwille van dichtslibben, begroeiing, ... Een zekerheid (factor 2) is evenwel reeds in de begindoorlatendheid ingebouwd. Deze factor houdt naast mogelijke dichtslibbing ook rekening met luchtinsluitsels in de structuur. Om tot een duurzame doorlatendheid te komen wordt aangeraden de begindoorlatendheid van de bovenstructuur (straatlaag en bovenlaag fundering) iets te vergroten ( $10^{-4}$  m/s). De doorlatendheid van de bodem kan eventueel iets kleiner zijn ( $10^{-6}$  m/s) zonder de infiltratie onmogelijk te maken.

Naar concept toe dient weinig of geen onderscheid gemaakt te worden tussen de drie types betonstraatstenen. Het type is enkel bepalend voor de keuze van de voegvullingsmaterialen en (eventueel) het legbed. In het geval van straatstenen met verbrede voegen of met drainage-openingen wordt er geopteerd voor een iets meer doorlatend voegvullingsmateriaal gezien het water op geconcentreerde plaatsen naar de ondergelegen structuur vloeit. Bij poreuze betonstraatstenen kan een iets fijner voegvullingsmateriaal gekozen worden. Er dient evenwel op gelet te worden dat het zand de poriën van de steen niet opvult. Het fijnere voegvullingsmateriaal draagt bij tot een grotere stabiliteit. Ook voor het legbed kan voor de poreuze straatstenen een iets fijnere korrelverdeling gekozen worden. Het aantal fijne deeltjes dient evenwel steeds beperkt te worden. Ook het verfijnen van de laag door vergruizing dient zoveel mogelijk vermeden te worden door een goede kwaliteit van de granulaten. Optimale samenstellingen van de structuur worden onderzocht (OCW, IWT-project 2003-2007).

## C. Voordelen

De relatief grote porositeit van de structuur laat een buffering van het hemelwater in de structuur toe alvorens het te infiltreren in de ondergrond of af te voeren naar andere infiltratiegronden of regenwaterriolen. Indien de ondergrond infiltratie toelaat wordt met deze oplossing een interessante combinatie bekomen van (doorlatende) verharding, buffering en infiltratie. De straatstenen hebben een goed dragend vermogen en licht verkeer is toegelaten.

## D. Nadelen

Meestal vermindert de waterdoorlatendheid na enkele jaren gebruik. Het ontwerp houdt evenwel rekening met deze verminderde doorlatendheid in de tijd.

Bij verontreinigd regenwater wordt het grondwater vervuild. Bij toename van het aandeel fijne en organische fractie in de voegen neemt de doorlatendheid sterk af. Deze oplossing met infiltratie kan ook niet gebruikt worden in een beschermingszone 1 of 2 van een drinkwaterwingebied.

#### **E. Parameters voor het ontwerp**

Verkeers- en andere belastingen, infiltratiekenmerken van de ondergrond.

#### **F. Beheer**

Voegen en stenen vrij houden van begroeiing. Dichtgeslibde gaten kunnen mogelijk met een vacuümreiniger of onder hoge druk opnieuw opengespoeld worden.



## 3.2. Bergen in open voorzieningen met infiltratie

In deze paragraaf worden behandeld: infiltratiekommen (ook wel wadi's genoemd), lijnvormige elementen (grachten en infiltratiesleuven) en infiltratiebekkens. Het onderscheid berust vooral in de schaalgrootte. Eerstgenoemde komt daarom in hoofdzaak ter sprake als regenopvangmogelijkheid bij (groepen van) woningen. Het tweede type wordt eerder gebruikt langs wegen. Het derde type bij de opvang van regen van grote oppervlakten (groter dan 0,1 ha). Mits bepaalde aanpassingen kan elk besproken systeem ook naar andere schaalgroottes worden geëxtrapoleerd.

### 3.2.1. Infiltratiekommen (wadi's)

#### A. Beschrijving

- regenwater wordt over korte afstanden naar een ondiepe kom(men) gebracht;
- ze zijn met gras begroeid;
- kan worden geïntegreerd in de groenaanplanting van tuinen, langs wegen;



**Figuur 3.4**

#### B. Voorwaarden

- goede communicatie met de betrokken partijen in de verschillende bouwfases op woningen/of wijkniveau is nodig;
- kiest men voor een wadi, dan moet er in een vroeg stadium mee worden rekening gehouden;
- de diepte is niet groter dan 30 cm;
- helling van de zijkant niet groter dan 1:3;
- kan worden gecombineerd met drainagesleuven;
- zonodig afscheider vormmonteren;
- berijden moet worden vermeden;
- toplaag bv. drie delen ruw zand, één deel humushoudende teelaarde tot 3 delen drainagezand op 1 deel teelaarde. Toplaag: 0,3 à 0,5 m dik, om biologische afbraak mogelijk te maken;
- onder de toplaag een voldoende doorlatende laag voorzien, toplaag 0,3 à 0,5 m;

- niet te veel bladverliezende bomen en struiken in de buurt, ingroei van wortels in de infiltratiebuis voorkomen;
- worden ze aangelegd op een hellend terrein, dan moeten ze trapvormig worden uitgevoerd;
- de toevoer gebeurt het best aan de oppervlakte, over de ganse lengte van de kom verdeeld; wordt het water via goot- of buissystemen op één of enkele punten ingebracht, dan moet men te grote stroming in de inlaatpunten vermijden; wordt de kom via een ondergrondse leiding gevuld, dan wordt het water best eerst naar een stuwput geleid;
- het water mag maximaal 1 tot 2 dagen in deze kommen blijven staan om dichtslibben te vermijden;
- kan zodanig worden aangelegd dat ze uitmonden in opslagbekkens, oppervlaktewater, ...

### **C. Voordelen**

- de aanlegkost van een wadi is vaak goedkoper dan de aanleg van een regenwaterriool;
- het onderhoud kan (mede) door de groendienst worden verzorgd;
- goede biologische reinigingscapaciteit;
- opgeloste stoffen worden goed tegengehouden en afgebroken;
- goede afvlakking van regenwaterafstromingspieken;
- minder ruimtebeslag dan bij infiltratie aan het oppervlak;
- geringe technische eisen, beperkt onderhoud;
- dubbel gebruik mogelijk, bijvoorbeeld als speel- en zonnehelling, als vochtig biotoop;
- kan deel uitmaken van verfraaiing van de leefomgeving;
- de controle is vrij eenvoudig.

### **D. Nadelen**

- maaien iets moeilijker dan vlak liggende oppervlakken;
- het onderhoud kan duurder uitvallen, vergeleken met een regenwaterriool;
- vergt een zekere ruimte;
- meer ruimtebeslag dan infiltratiebekkens;
- kan aanzetten tot sluikstorting op afgelegen plaatsen.

### **E. Parameters voor het ontwerp**

- per 100 m<sup>2</sup> verhard oppervlak is ongeveer 5 à 10 m<sup>2</sup> bekkenoppervlak nodig;
- $k_f$  - waarde groter dan 10<sup>-6</sup> m/s;
- komdiepte < 30 cm;
- bodembreedte ca. 0,5 à 1 m;
- humushoudende toplaag minstens 20 cm dik, bij voorkeur 30 à 50 cm;
- bodemopbouw, doorlatendheid, bodemsamenstelling, grondwaterstanden;
- ledigingstijd maximum 24 u;
- overstortfrequentie van het ganse infiltratiesysteem 1 keer per 2 à 5 jaar;
- overstortvoorziening naar een slokop (bevroren wadi-toplaag) en naar het oppervlaktewater en/of ander wadi-compartiment bij overschrijding van de bergingscapaciteit;
- helling < 1:3 of flauwer, met afgeronde zijkanten;
- aanvoer bij voorkeur bovengronds.

### **F. Materialen, aanleg**

- goed doorlatende ondergrond, graszode, invoergoten of voorzieningen die een gelijkmatige inloop aan de zijkanten verzekeren;

- bij minder goed doorlatende ondergrond en toch voldoende lage grondwaterstand kunnen zowel filterbedmaterialen als grind, geëxpandeerde kleikorrels als infiltratieblokken worden aangebracht. Het filterbedmateriaal geeft het voordeel van een hoge flexibiliteit naar vormgeving en het heeft een groot draagvermogen. In dit filterbedmateriaal kan een infiltratiebuis worden voorzien die bij verzadiging van het infiltratiesysteem overtollig water via een overstort naar het oppervlaktewater afvoert.
- zo nodig regelafsluiters voorzien om voldoende opstuwing in elke cascade te kunnen realiseren;
- tijdens de bouw van een wijk, voorlopige afvoeren voorzien en wadi's pas nadat de meest werken zijn afgerond inrichten om dichtrijden en vervuiling door bouwafval te vermijden;
- voor de woningen zo weinig mogelijk uitlogende materialen gebruiken;
- overstortconstructies: (i) slokop die in werking treedt bij hoge waterstanden in de wadi en een kortsluiting vormt tussen de kom en infiltratieleiding in de wadi en (ii) overloop die het regenwater verder kan afvoeren naar een lagerliggende kom, oppervlaktewater of regenwaterleiding.

## G. Beheer

Een wadi wordt (in het groeiseizoen) best iedere week gemaaid. Zo is de snede klein genoeg om te blijven liggen en te verteren. Het wekelijks maaien maakt ook het ophalen van het gemaaid gras overbodig. Bijkomende voordelen van regelmatig en frequent maaien is dat het gras niet kan gaan 'liggen' (en zo de bodem afsluit) en dat er minder zwerfvuil wordt aangehouden. Maaien in een natte wadi veroorzaakt onnodige verdichting en verslemping. Staat er water in de wadi, dan moet de maaibeurt bijgevolg worden overgeslagen.

De praktijk heeft uitgewezen dat het gebruik van een kooimaaiër enkele nadelen heeft (Wentink *et al.*, 2003):

- het maaien van steilere taluds (1:1 of 1:2) kan aanleiding geven tot 'happen' in de grasmat;
- moeilijk bereikbare plaatsen kunnen vaak niet gemaaid worden;
- de kans op spoorvorming (en verdichting) is groter, waardoor kooimaaiers pas gebruikt kunnen worden als de wadibodem voldoende droog is.

Door gebruik te maken van een bosmaaier kunnen bovenstaande nadelen vermeden worden. Voor het maaien van moeilijk bereikbare plaatsen wordt sowieso vaak een bosmaaier gehanteerd. Daarnaast kan ook het gebruik van luchtkussenmaaiers overwogen worden. Hoewel luchtkussenmaaiers op korte termijn duurder zijn, wordt er (door het gebruik ervan) wel voorkomen dat de wadibodem voortijdig moet worden gespit of zelfs vervangen.

Naast maaien is het aan te raden de wadibodem af en toe te verticuteren. Ook moeten bladen en zwerfvuil geregeld uit de wadibodem worden verwijderd. Een laag bladafval op de bodem van de wadi belemmert immers een vlotte infiltratie van het regenwater. Zwerfvuil moet verwijderd worden om vervuiling van de wadibodem te vermijden. Een aangepast strooibeleid moet ervoor zorgen dat de grasmat niet wordt aangetast door de strooizouten.

Niet alleen de grasmat vergt onderhoud. Ook de kolken (slok-ops) moeten geregeld geïnspecteerd en leeggezogen worden. Het doorspuiten van de infiltratiebuizen zorgt ervoor dat de openingen in de buizen niet dichtslibben.

Het verwijderen van een sliblaag, het vervangen van de topklaag zijn maatregelen die kaderen in het lange-termijnonderhoud van een wadi en kunnen dan ook nodig zijn om het optimaal functioneren van de wadi op lange termijn te garanderen.

Dit alles maakt dat bij het onderhoud van een wadi een goede communicatie tussen en een onderlinge afstemming van de betrokken (gemeentelijke) diensten (groendienst, riolering, ...) onmisbaar is.

### 3.2.2. *Lijnvormige elementen*

#### Grachten

##### **A. Beschrijving**

Ook grachten kunnen ontworpen worden als infiltratievoorzieningen. Daarnaast zijn er ook andere (langgerekte) systemen die gelijktijdig een infiltratiefunctie vervullen (bij lage hydraulische belasting) en een transportfunctie (bij hoge hydraulische belasting), zoals infiltratietransportriolen en wadi's. Hiertoe is het vooral belangrijk dat de berging optimaal wordt benut door compartimentering in de langsrichting, zodat bij lage hydraulische belasting het water lokaal wordt geborgen en slechts bij hoge hydraulische belasting de transportcapaciteit wordt aangesproken.

Voor grachten kan dit gebeuren door ze vlak uit te voeren (getrapt in hellende gebieden) met tussenschotten of andere drempelconstructies tot op een zekere hoogte. De transportfunctie bij het stijgen van het water boven deze drempelhoogte wordt gecreëerd door het hydraulisch verhang en moet gegarandeerd blijven zonder overstromingsrisico bij de vereiste ontwerperugkeerperiode. Voor infiltratietransportriolen kan de benutting van de buffering gebeuren met stuwputten.

Verder dient een voldoende (vertraagde) lediging van de compartimenten te worden gerealiseerd. De uitvoeringstechnische details spelen dan ook vaak een belangrijke rol bij de optimale benutting van de buffercapaciteit.

##### **B. Voorwaarden**

- voldoende ruimte voor aanleggen van grachten;
- reinigen van grachten is noodzakelijk om functionaliteit te behouden;
- doorlatende bodem om infiltratie naar de ondergrond mogelijk te maken.

##### **C. Voordelen**

- lage kost t.o.v. aanleg regenwaterriool;
- het is een open voorziening wat de inspectie vereenvoudigt;
- het is mogelijk om buffering en infiltratie te combineren met transport.

##### **D. Nadelen**

Heeft de gracht ook een transportfunctie, dan kan bij calamiteiten de vervuiling zich over een lang traject verspreiden. Dit kan vermeden worden indien de compartimentering op een aantal plaatsen ook kan worden afgesloten zodat het vuil zich niet over een lange afstand verspreidt.

##### **E. Parameters voor het ontwerp**

- doorlatendheid grond, bij voorkeur  $> 10^{-6}$  m/s;

- breedte en diepte afhankelijk van af te voeren oppervlak;

## F. Materialen en aanleg

Grachten kunnen natuurlijk aangelegd worden of met elementen ter versteviging. Zijelementen, volledige grachtelementen, elementen met uitsparingen voor grasgroei, elementen met uitsparingen voor infiltratie of volledig gesloten elementen kunnen daartoe gebruikt worden.

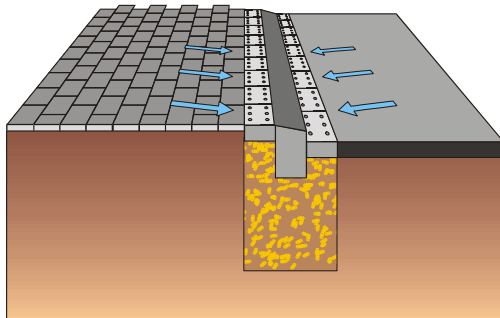
## G. Beheer

De grachten dienen gereinigd te worden.

## Infiltratiesleuven, gestabiliseerde randbegroening

### A. Beschrijving

Infiltratiesleuven maken het mogelijk te infiltreren vanaf het oppervlak door een goed doorlatende, lange en smalle steenslagkoffer. Hierbij wordt het doorpercolerende water verdeeld over een infiltratiebuis, die onderaan is ingebracht, en is tevens infiltratie doorheen een geotextiel naar de bestaande bodem mogelijk. Bij goed doorlatende ondergrond kunnen de zijbermen ook verlaagd worden zonder in een steenslagkoffer te voorzien, maar met een aangepast wegprofiel (breedte, helling, ...). Het regenwater wordt dan van de wegen naar deze gestabiliseerde randbegroening afgeleid.



Figuur 3.5

### B. Voorwaarden

- goed doorlatende gronden (een ondiepe ondoorlatende tussenlaag kan eventueel doorbroken worden).

### C. Voordelen

- ideaal om parallel langs lijnvormige verharde oppervlakken (bv. wegen) aan te leggen;
- weinig oppervlaktebeslag, goede infiltratie en opslag is mogelijk;
- reiniging via bioactieve bovenlaag (voorzover aanwezig).

### D. Nadelen

- periodiek onderhoud, zoals maaien, is noodzakelijk; wanneer slibdeeltjes op een effectieve wijze in een toplaag kunnen worden opgevangen, kan een periodieke reiniging en/of aanvulling van de toplaag volstaan;
- zwevende stoffen mogen slechts beperkt voorkomen of moeten in aparte voorzieningen worden opgevangen.

#### **E. Parameters voor het ontwerp**

- doorlatendheid  $> 10^{-6}$  m/s;
- lengte, breedte, diepte afhankelijk van het aangesloten oppervlak en filtercapaciteit.

#### **F. Materialen en aanleg**

- opvulling van de sleuf en omhulling van de infiltratiebuis met grove kiezel bijvoorbeeld 6/32, geëxpandeerde kleikorrels 4/8;
- infiltratiepakket omhullen met geotextiel om indringing van fijn materiaal te verhinderen;
- controleputten bijvoorbeeld om de 50 m;
- combinatiemogelijkheden met voorgeschakelde opvang- en reinigingsvoorzieningen, combinatie met wadi's, drains, kunststofblokken, ... ;
- ter hoogte van bomen, opritten en leidingen de infiltratiekoffers onderbreken en onderling verbinden met een buis;
- onderaan wordt eventueel een infiltratieleiding geplaatst (bij slecht doorlatende gronden).

### *3.2.3. Bergingsbekkens met infiltratie*

#### **A. Beschrijving**

- toevoer van regenwater vanaf verharde oppervlakken naar een bekken met doorlatende bodem en/of wanden, waarbij biologisch actief sediment voor afbraak van opgeloste stoffen zorgt;
- meestal voor vrij grote verharde oppervlakken;
- sterker hydraulisch belast dan infiltratiekommen;
- kan worden geïntegreerd in het landschap;
- vaak gebruikt langs autosnelwegen.

#### **B. Voorwaarden**

- de diepte is groter dan 30 cm, daarom best voorzien van een omheining;
- helling van de zijkant niet groter dan 1:1,5;
- om dichtslibben van de wanden tegen te gaan is het aanbevolen een bezinkingszone voor te schakelen;
- zo nodig afscheider (benzine, olie) voorschakelen;
- men kan er delen met een meer permanente vulling aan koppelen;
- toevoer en voorbehandeling integreren in het landschap;
- toegankelijkheid voor ruiming voorzien;
- bij verminderde infiltratie, dichtgeslibde bodemlaag verwijderen;
- ruimen kan tijdelijk vaak de biologische reinigingscapaciteit verminderen, daarom niet onnodig ruimen;
- regelmatige controle.

### **C. Voordelen**

- goede afvlakking van regenwaterafstromingspieken;
- goede biologische reinigingscapaciteit in het sediment;
- meestal decentraal aangelegd;
- de kwaliteit van het te infiltreren water mag enigszins variëren;
- beperkt onderhoud.

### **D. Nadelen**

- door de grote te infiltreren volumes kan het grondwaterpeil stijgen, wat de optimale werking van het bekken zelfs kan verminderen;
- extra veiligheidsmaatregelen (omheining) nodig;
- bij verwaarlozing, mogelijkheid tot dichtslibben van zijwand en bodem.

### **E. Parameters voor het ontwerp**

- toevoerend oppervlak voldoende groot (ongeveer vanaf 1 ha);
- dieper uit te voeren dan bij kominfiltratie;
- $k_f$  - waarde groter dan  $5 \cdot 10^{-6}$  m/s;
- helling van de bermen afhankelijk van het bodemtype;
- eventueel voorreiniging voorzien (afzetzone, infiltratiekom);
- eventueel te combineren met vijverpartij.

### **F. Materialen, aanleg**

- zijbermen eventueel beplanten met aangepaste planten die infiltratie en reiniging verhogen;
- aanvoer best bovengronds;
- toevoer bijvoorbeeld via infiltratiesleuven met bijkomende infiltratieleiding onderin de sleuf.

### **G. Beheer**

- minstens elke herfst controleren;
- infiltratiecapaciteit in de tijd volgen en zo nodig corrigeren;
- nodige groenbeheer.

### 3.3. Bergen in ondergrondse voorzieningen met infiltratie

Waar men niet over de nodige ruimte beschikt, zoals bij parkings en industriële complexen, of door vereiste veiligheidsoverwegingen, zoals in de omgeving van scholen en dergelijke, kan er gebruik gemaakt worden van ondergrondse voorzieningen.

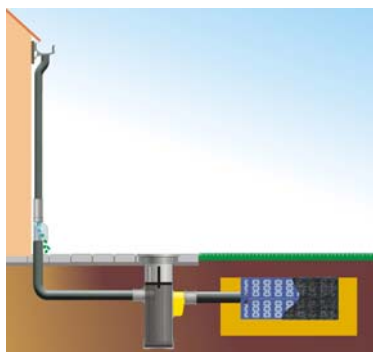
De controlesystemen die het lozingsdebiet regelen, zijn dezelfde als deze voor open bekkens (zie § 5.6).

Onder de hoofdingen 'private personen', 'wegen' en 'grote oppervlakken' worden die systemen besproken die het meest typisch zijn voor dergelijke schaalgroottes. Mits bepaalde aanpassingen kan elk besproken systeem ook naar andere schaalgroottes worden geëxtrapoleerd.

#### 3.3.1. *Private personen: Infiltratieputten, infiltratiekolken, infiltratiebuizen, infiltratieblokken en infiltratieeenheden opgebouwd uit geëxpandeerde kleikorrels*

Bij nieuwbouw is het wenselijk het regenwater te verzamelen en naar een regenwaterput af te leiden. De overloop van deze regenwaterput kan naar een ondergrondse infiltratievoorziening afgeleid worden. Andere systemen die rond de woning kunnen worden toegepast, zijn: onmiddellijke infiltratie in de ondergrond, open voorzieningen met infiltratie (zie respectievelijk § 3.1. en § 3.2.).

Waar het niet wenselijk is een koppeling naar de regenwaterput te voorzien, kan de regenafvoerpijp onmiddellijk aangesloten worden op een ondergrondse infiltratievoorziening (zie figuur 3.6).



**Figuur 3.6**

Deze infiltratievoorzieningen kunnen verschillende vormen aannemen: infiltratieputten (verticale elementen), infiltratiebuizen met kleine of grote diameter (horizontale elementen), infiltratieblokken, infiltratieeenheden opgebouwd uit geëxpandeerde kleikorrels

#### **A. Beschrijving**

##### Infiltratieputten en infiltratiekolken

Bij **infiltratieputten** gebeurt de infiltratie via de onderzijde en/of de zijkant van de putten (verticaal), direct in de doorlatende lagen zonder doorgang door bioactievende zones op maaiveldhoogte.



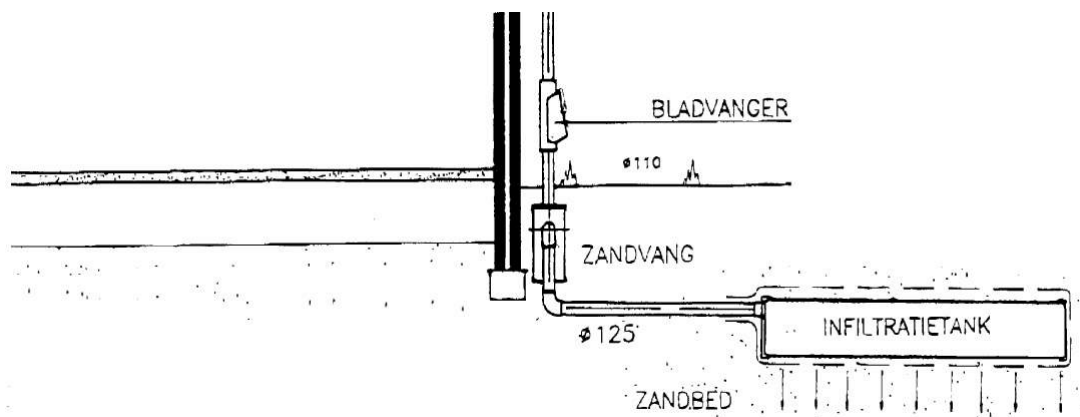


**Figuur 3.7**

De **infiltratiekolk** is een verticaal element voor regenwaterinfiltratie, waarbij de onderbak bestaat uit een poreuze, geboorde of gesleufde buis, omwikkeld met geotextiel. Afhankelijk van het aantal m<sup>2</sup> aan te sluiten verhard oppervlak, de afvoercoëfficiënt, de doorlaatbaarheid van de bodem, toegelaten lozingsdebieten en de regenintensiteit, kunnen de afmetingen van de infiltratievoorziening worden bepaald. Men kan de kolken afzonderlijk of in een onderling verbonden stelsel toepassen. Met de aansluiting(en) op de onderbak van de kolk kan een overstort gemaakt worden, of kan er water op onderliggende niveau's worden toegevoerd. Met een langere onderbak kan men door waterdichte lagen toch goed infiltreren (indien de grondwaterstand voldoende laag is). In verband met schoonmaken m.b.v. een kolkenzuiger is de bodem eventueel voorzien van een (slagvaste) afsluitkap.

### Infiltratiebuizen

Infiltratie kan ook via horizontale constructies gebeuren. Hierbij kan er gebruik gemaakt worden van drainagebuizen (kleinere diameters) die een netwerk vormen vertrekkende vanuit een verdeelput en over een relatief grote oppervlakte verspreid zijn (ondergrondse bevoeiing of verspreidingsdrainage). Hetzelfde resultaat kan bereikt worden met geperforeerde buizen van grotere diameter (geboorde, gesleufde of poreuze buizen) die met gebruik van afsluitkappen als infiltratietanks worden toegepast.



**Figuur 3.8**

## Infiltratieblokken

### *Kunststofblokken langs alle wanden waterdoorlatend*

Infiltratieblokken zijn modules in kunststof met een netto holle ruimte van ca. 95%. De blokken kunnen zowel boven als naast elkaar gestapeld worden en gekoppeld door middel van verbindingselementen. Kleine bekkens kunnen in de fabriek kant-en-klaar geprefabriceerd worden. Grotere bekkens worden op de werf samengesteld (zie figuur 3.9).



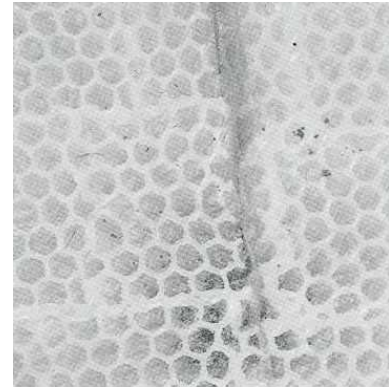
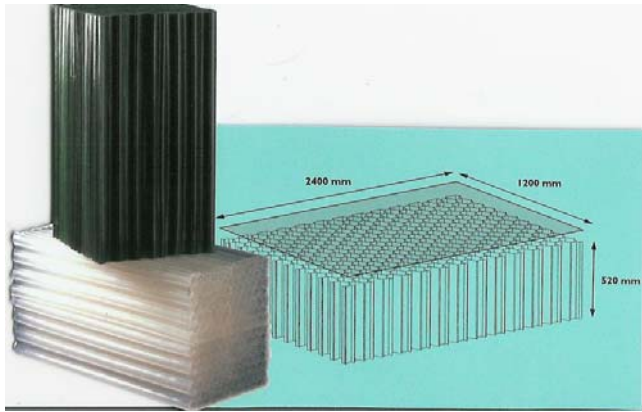
**Figuur 3.9**

### *Kunststofblokken langs boven- en onderzijde waterdoorlatend*

Deze blokken bestaan uit kunststof en hebben netto 95% holle ruimtes. De blokken kunnen zowel naast als boven elkaar geplaatst worden en worden niet met elkaar verbonden. De bekkens worden samengesteld op de werf.

De standaard omhulling voor deze bekkens is infiltratieweefsel, een kwalitatief hoogstaand geotextiel dat voldoet aan de zeer uiteenlopende eisen van deze toepassing, namelijk hoge treksterkte, hoge waterdoorlatendheid en goede zanddichtheid.

Door gebruik te maken van een waterdichte omhulling met geomembraan kan van deze kunststofblokken tevens gebruik gemaakt worden voor het bouwen van bufferbekkens (zie hoofdstuk 4).



**Figuur 3.10**

## **B. Voorwaarden**

Basisvoorwaarden voor infiltratie zijn een lage grondwaterstand en een goed doorlatende ondergrond. Secundaire aandachtspunten zijn: betreft het nieuwbouw, bestaande open bebouwing of bestaande gesloten bebouwing?

## **C. Voordelen**

- aftoppen van piekdebieten naar de riolering, voeden van de grondwatertafel en voorkomen van uitdroging van de bodem;
- gering oppervlaktebeslag;
- kan onder voorwaarden met constructies overbouwd worden;
- goede controlebaarheid (o.a. via de inspectieputten);
- perfect inpasbaar bij individuele woningen.

## **D. Nadelen**

- gevaar dat ze overbouwd worden op termijn (inplantingsplannen);
- er dienen maatregelen in het concept genomen te worden om dichtslibbing te vermijden (bv. voorfiltering).

## E. Parameters voor het ontwerp

- controle van de doorlatendheid van de bodem.

Bij nieuwbouw (gesloten of half-open bebouwing) zijn er infiltratiemogelijkheden wanneer aan de basisvoorwaarden is voldaan (o.a. lage grondwaterstand, voldoende doorlatendheid van de bodem).

Bij (bestaande) aaneengesloten bebouwing kan eventueel de helft van het van het dakoppervlak afstromende regenwater een nieuwe bestemming krijgen. Aan de straatzijde kan dit evenwel moeilijk zijn aangezien het trottoir meestal vol ligt met nutsleidingen. Aan de tuinzijde echter, kan iedere afvoerpijp aangesloten worden op een infiltratievoorziening, al dan niet voorzien van een overloop naar een nabijgelegen gracht of riool.

Bij particuliere woningen kan het aangewezen zijn per afvoerpijp infiltratie te voorzien.

Putinfiltratie kan worden toegepast waar ondiepere infiltratiezones (die ook meer oppervlakte vergen) niet mogelijk zijn.

Bij bestaande bebouwing moet een zekere voorzichtigheid aan de dag worden gelegd met betrekking tot een verhoging van de grondwaterstand die, bij ondichte kelders, tot wateroverlast zou kunnen leiden.

## F. Materialen en aanleg

- minstens een 20 cm dikke filterlaag (drainagezand) rondom aanbrengen;
- erosie-effecten bij invoer van het water vermijden;
- gebruik maken van een filterdoek met een hoge treksterkte, hoge waterdoorlatendheid en goede zanddichtheid;
- combineerbaar met andere systemen (wadi, grote infiltratiebuizen, ...).

### 3.3.2. *Wegen: Lijnvormige ondergrondse structuren met infiltratie*

Infiltratie van hemelwater van wegen gebeurt meestal langs open grachten of open voorzieningen met infiltratie (infiltratiebekkens). Wanneer deze systemen omwille van plaatsgebrek of veiligheid niet uitgevoerd kunnen worden, kunnen lijnvormige ondergrondse voorzieningen gebouwd worden.

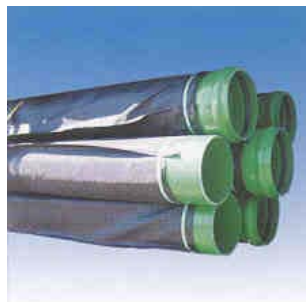
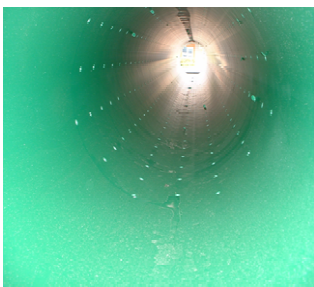
## A. Beschrijving

Lijnvormige elementen kunnen opgebouwd zijn uit infiltratiebuizen, uit infiltratie-blokken, uit filtermateriaal (bijvoorbeeld drainagezand, kiezel of geëxpandeerde kleikorrels) of uit een combinatie van de vorige elementen. Worden infiltratiebuizen, en –blokken ge-combineerd met een extra omhulling uit filtermateriaal, dan fungeren beide als buffer van waaruit het water vertraagd wordt geïnfilteerd in de ondergrond. Zowel combinaties van een groter volume aan filtermateriaal met infiltratiebuizen met kleinere diameters (bv. DN 150-300 mm) als combinaties van een kleiner volume aan filtermateriaal met infiltratiebuizen met grotere diameters (bv. DN 400-800 mm) zijn mogelijk. In het eerste geval beogen de infiltratiebuizen een verdeling van het opgevangen water over het filter-materiaal. Het filtermateriaal is in dat geval de voornaamste buffer. In het tweede geval zijn het de infiltratiebuizen die zorgen voor het belangrijkste bufferend en infiltrerend vermogen.



**Figuur 3.11**

De hoofdfuncties van infiltratiebuizen zijn het bufferen en het in de ondergrond laten infiltreren van het opgevangen water. Net als bij grachten kan er echter ook gebruik gemaakt worden van de transportmogelijkheden die dergelijke leidingen hebben. Wanneer infiltratie en transport met elkaar gecombineerd worden, spreekt men vaak van infiltratie-transportriolen. Een infiltratie-transportriool kan bestaan uit een kunststofbuis (in PVC, PE of PP (sterkteklasse SN8) met een gladde of met een gestructureerde wand) of uit beton of gres, waarbij er fabrieksmatig sleuven of gaten in de buiswand zijn aangebracht. Ook poreuze betonbuizen komen hiervoor in aanmerking. Om te vermijden dat transport de hoofdfunctie wordt en de infiltratiebuizen hun bufferende en infiltrerende werking verliezen, worden er tussen de verschillende leidingsecties het best stuwputten aangebracht.



**Figuur 3.12**

## **B. Voorwaarden.**

De ondergrond moet voldoende doorlatend zijn om infiltratie mogelijk te maken. Anderzijds kunnen de hier beschreven lijnvormige, ondergrondse structuren worden aangelegd juist om slechter doorlatende tussenlagen te doorbreken.

Bomen of sterk wortelende gewassen uit de buurt houden en/of speciale voorzieningen zoals worteldoeken voorzien.

Het niveau van de grondwaterspiegel moet infiltratie toelaten.

### **C. Voordelen.**

- ideaal bij lange lijnvormige elementen;
- zeer gering oppervlaktebeslag;
- regenwater wordt via invoerconstructies (straatkolken, schachtopeningen, ...) lokaal ingebracht en gelijkmatig over het drain-infiltratiesysteem verdeeld;
- het overbouwen met lichte constructies is mogelijk;
- kan in de winter fungeren als drainage van wat hoger staande grondwaterlaag, in de zomer voor de aanvulling van deze laag;

### **D. Nadelen**

- controle en onderhoud dienen te gebeuren met gespecialiseerde middelen;
- zwevende stoffen via afzonderlijke voorziening opvangen;
- weinig reinigende werking;
- bij het ontwerp moet in de berekening van de doorlatende wanden rekening houden met het feit dat de doorlatendheid van de wanden in de tijd enigszins kan afnemen.

### **E. Parameters voor het ontwerp**

- cf. infiltratiesleuven en –leidingen (zie § 3.2.2.);
- buisdiepte minstens vorstbestendig (> 70 cm).

### **F. Materialen en aanleg**

- omhulling van de infiltratiebuizen en –riolen met een drainagezand (minimaal 20 cm dikte of volgens de aanwijzingen van de fabrikant) en eventueel een geotextiel (op de werf of in de fabriek aangebracht);
- controleputten (bv. elke 50 m);
- straatkolken met filtering (korffilters);
- kunnen bv. geplaatst worden onder de pech- of parkeerstrook;
- combinatie mogelijk met putinfiltratie, wadi's, sleufinfiltratie, hemelwaterriolen.

### **G. Beheer**

Onderhoud en inspectie kunnen worden uitgevoerd vanuit de te voorziene controleputten en/of bezinkingsputten.

### *3.3.3. Grote oppervlakken: Niet-lijnvormige structuren met infiltratie*

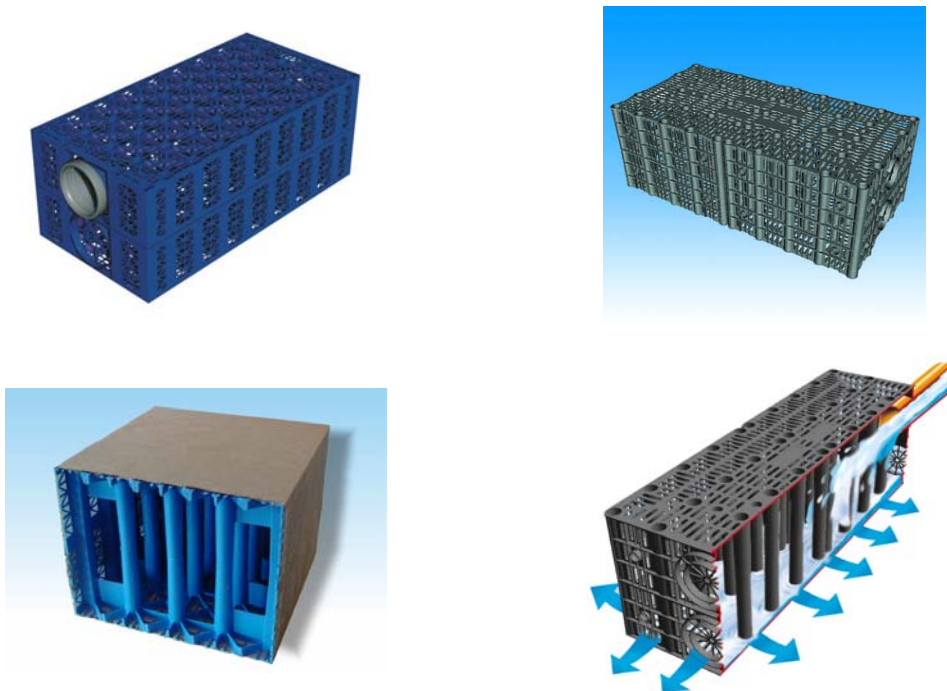
Bij grote verharde oppervlakken waarbij oplossingen worden gezocht in ondergrondse opslag, kunnen zowel infiltratieblokken als een massief in geëxpandeerde kleikorrels toegepast worden, omhuld met een geotextiel.

### Infiltratieblokken

#### **A. Beschrijving**

*Kunststofblokken langs alle wanden waterdoorlatend*

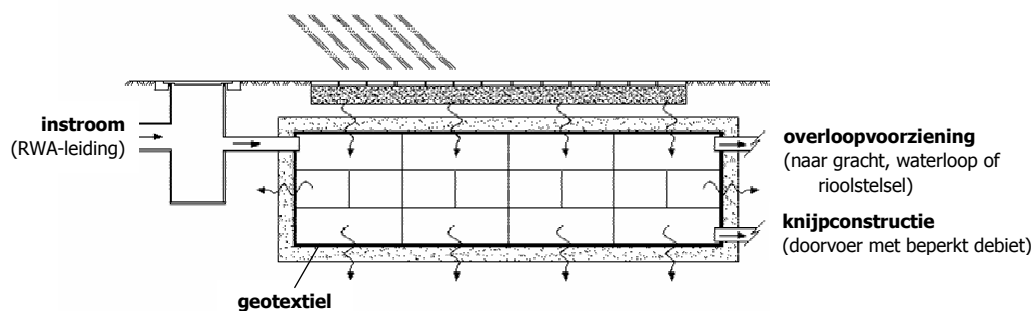
Deze blokken zijn opgebouwd uit optimaal waterdoorlatende wanden. De inwendige structuur (kolommen) zorgt voor een hoge stijfheid en druksterkte. Door de vormgeving en de afmetingen zijn de blokken compact en zijn bufferbekkens in alle gewenste richtingen op te bouwen.



**Figuur 3.13**



**Figuur 3.14**



**Figuur 3.15**

### *Kunststofblokken langs twee wanden waterdoorlatend*

Deze blokken bestaan uit talrijke verticale pijpjes in honingraatstuctuur. De cellen hebben een poriënvolume van ongeveer 95 %. Door de hoge mechanische weerstanden kunnen deze blokken ook onder wegen kunnen geplaatst worden. Deze blokken zijn gemakkelijk manipuleerbaar op de werf en zorgen ervoor dat de bufferbekkens in gelijk welke vorm kunnen gerealiseerd worden.



**Figuur 3.16**

## **B. Voorwaarden**

Wil men berging met infiltratie combineren, dan moet het infiltratiebekken boven het normale grondwaterpeil blijven en moet er een goed doorlatende grond aanwezig zijn.

## **C. Voordelen**

- de infiltratievoorziening kan zowel langs boven gevuld worden (infiltratiebekken) als langs onder (drukgevoed bufferbekken met gecalibreerde uitloop);
- doorstroming van het bekken is mogelijk in alle richtingen (bij alzijdig doorlatende blokken);
- zelfreinigend wanneer het bekken van onderuit wordt gevoed en ook weer leeggelaten wordt en voor zover bezinkbare deeltjes zoveel mogelijk uit de regenwaterstroom worden gehouden;
- compacte bouw en snelle montage (lichtgewichtblokken);
- star en robuust geheel door onderlinge verbindingen;
- belastbaar;
- voeding ook mogelijk via een doorlatend wegdek.



#### **D. Nadelen**

- is moeilijk toegankelijk;
- zwevende stoffen mogen slechts in beperkte mate voorkomen (filtering is nodig).

#### **E. Parameters voor het ontwerp**

Om het bekkenvolume te kunnen bepalen, moeten de volgende parameters gekend zijn: infiltratie en/of buffering, aangesloten verhard oppervlak, totaal lozingsdebiet, totaal infiltratiedebiet en totaal bufferdebiet.

Voor infiltratiebekkens wordt aangenomen dat de bodem in de loop van de tijd zal dichtslibben door fijn meegevoerd sediment (dat niet door blad- en zandvang is verwijderd). Indien naast een blad- en zandvang aanvullende maatregelen zijn getroffen waarmee de inspoeling van sediment wordt voorkomen (bv. fijnmazig filter of bodempassage) mag het bodemoppervlak mee worden opgenomen als infiltratieoppervlak.

De nodige randvoorzieningen zoals inspectieputten, zeef- en zandvangputten, koolwaterstofafscielders, debietregelaars, noodoverlaatputten en terugslagkleppen, maken het infiltratieontwerp tot één geheel concept.

#### **F. Materialen en aanleg**

*Kunststofblokken langs alle wanden waterdoorlatend*

- de infiltratiekragen in kunststofmateriaal worden omhuld met geotextiel;
- het bekken wordt rondom aangelegd in een 20 cm dik drainagezand, dit om een goede infiltratie-aanzet te bekomen en beschadiging door eventuele stenen enz. te voorkomen;
- een gronddekking van 60 à 70 cm moet voorzien worden in geval van verkeersbelasting;
- inspectieputten, zeef- en zandvangputten, koolwaterstofafscielders, debietregelaars, noodoverlaatputten, terugslagkleppen worden geplaatst.

*Kunststofblokken langs twee wanden waterdoorlatend*

- de blokken in kunststofmateriaal zijn aan de boven- en onderkant bekleed met geotextiel;
- de drainagebuizen onder de blokken worden geplaatst in een drainerend grindbed; een grindbed wordt eveneens voorzien op de blokken en doet dienst als ontluchting;
- de hele bergingsconstructie wordt met doorlatend geotextiel omhuld;
- een gronddekking van 60 à 70 cm moet voorzien worden in geval van verkeersbelasting;
- inspectieputten, zeef- en zandvangputten, koolwaterstofafscielders, debietregelaars, noodoverlaatputten, terugslagkleppen worden geplaatst.

#### **G. Beheer**

Onderhoud wordt uitgevoerd vanuit de verdelingsputten.

## Structuren opgebouwd uit minerale materialen

### **A. Beschrijving**

Het infiltratiebekken kan een combinatie zijn van infiltratiebuizen en een infiltratielichaam zoals geëxpandeerde kleikorrels, waarbij buizen voor transport, het bufferlichaam voor opslag en de filterdoek voor infiltratie zorgen (op voorwaarde dat het systeem boven het grondwater blijft).

De stabiliteit van het geheel wordt bekomen doordat de uitgraving, welke vorm dan ook, na het aanbrengen van het filterdoek volledig wordt opgevuld met korrels en in lagen wordt verdicht. Daarna wordt het geotextiel aan de bovenzijde gesloten en met aarde bedekt. Hierdoor zijn verschuivingen en/of verzakkingen onmogelijk.

Voor kleine afvoeren kunnen kleine voorverpakte volumes worden ingebracht in de grond. De infiltratieleidingen en verluchtungsleidingen worden aan één zijde aangesloten op een prefab eenheid waarin een vuilfilter, terugslagkleppen en eventueel een debietregelaar en meetapparatuur aanwezig zijn.

Bij grote oppervlakken worden op diverse plaatsen bezoekschouwen toegevoegd om camera-inspectie in de infiltratiebuizen toe te laten.



**Figuur 3.17**

## B. Voorwaarden

- het grondwaterniveau moet lager gelegen zijn dan de infiltratievoorziening;
- de bodem moet voldoende doorlatend zijn;
- een gravitaire afloop van de infiltratiebuizen dient gegarandeerd te worden om het bekken volledig te kunnen laten leeglopen of, in geval van een pompstation, het volledig te kunnen ledigen in de pompkelder.

## C. Voordelen

- De vulling van het bekken gebeurt langs alle zijden doordat het bufferlichaam uit korrels is opgebouwd.
- willekeurige vormgeving: gezien de korrelmassa een maximale flexibiliteit toelaat qua vormgeving is deze oplossing overal toepasbaar, zowel op de meest enge als op de moeilijk bereikbare plaatsen;
- aanvullen van de bouwput door inbrengen van de korrels met een silowagen;
- de korrels worden geblazen met een pomp met debieten aan 30 m<sup>3</sup>/u over een afstand van 50 tot 100 m (snelle verwerking);
- geen gevaar bij overbouwen, vermits een draagkracht en stabiliteit gegarandeerd is tot 15 T/m<sup>2</sup>;
- een pakket ronde korrels vertoont geen nazettingsverschijnselen en is na verdichting onmiddellijk geconsolideerd;
- laag gewicht en biedt daarom mogelijkheden bij zettingsgevoelige gronden en toepassing bovenop andere bouwelementen;
- maximaal natuurlijk product dat de grond niet vervuult, ook niet na het verlaten van het bekken als infiltratie-eenheid;
- wateropslag gebeurt tussen, doch ook deels in de korrels;
- de korrels bieden een substraat voor bacteriën waardoor een zuiverende werking ontstaat;
- de korrels zijn inert en kunnen ten allen tijde in hun oorspronkelijk gefabriceerde vorm hergebruikt worden (dus geen probleemafval);
- de infiltratie-eenheid kan gekoppeld worden aan elke vorm van buffereenheid;
- de infiltratiebuizen zijn ten allen tijde inspecteerbaar.

## D. Nadelen

- aanbrengen van het materiaal kan enige stofontwikkeling veroorzaken indien het verpompen niet gebeurt door toevoegen van water;
- toegankelijkheid via de verdeelschacht, verticale controlebuizen en via de infiltratiebuizen, het infiltratiepakket zelf is niet direct toegankelijk;
- zwevende stoffen mogen slechts in beperkte mate voorkomen. Daarom worden hardere geëxpandeerde kleikorrels gebruikt die specifiek voor dit doel worden geproduceerd.

## E. Parameters voor het ontwerp

- verkeers- en andere belasting;
- aangesloten verhard oppervlak;
- doorlatendheid van de ondergrond;
- diepte grondwaterspiegel;
- de grootte en de vorm worden bepaald door het afwateringssysteem waarin deze voorziening is ondergebracht en de plaats en de diepte waar het moet gebouwd worden; het bufferlichaam bestaat uit gelijkvormige bollen waartussen alle openingen met elkaar in verbinding staan, waardoor het water langs alle vlakken naar buiten kan stromen.

## **F. Materialen en aanleg**

- uniforme korrelverdeling van het vulmateriaal om optimaal poriënvolume te verkrijgen. Voor deze toepassing zijn hardere geëxpandeerde kleikorrels voorhanden die speciaal worden afgezeefd om een optimale korrelverdeling te bekomen;
- doorlatend doek;
- infiltratiebuizen;
- toezichtputten (eventueel met filter, terugslagkleppen, zandvang, meettoestel en debiet-regelaar);
- het verdichten dient zorgvuldig te gebeuren, met aangepaste apparatuur om verbrijzeling van de korrels te voorkomen.

## **G. Beheer**

- regelmatig onderhoud van filters en zandvang en visuele controle.



#### **4. Types bergingsvoorzieningen zonder infiltratie**

Wanneer het niet mogelijk, gewenst of toegestaan is regenwater te infiltreren, kan er gebruik gemaakt worden van bergingsvoorzieningen zonder infiltratie. Zeker in het geval men het hemelwater wil hergebruiken (in sanitaire voorzieningen, als bluswater, ...) zijn sommige van onderstaande technieken aan te raden.

De infiltratiecapaciteit kan te beperkt zijn door bijvoorbeeld een te hoge grondwaterstand of een slecht doorlaatbare ondergrond. Daarnaast kan voor wegen en grote verharde oppervlakken (bijvoorbeeld vervuilde industrieterreinen) ook de kwaliteit van het afstromend regenwater te slecht zijn om het te laten infiltreren. Ook kan acuut plaatsgebrek noodzaken tot extra ondergrondse berging. In alle gevallen dient eerst te worden nagegaan of bovengrondse buffering en/of infiltratie niet mogelijk zijn.

Voorzieningen zonder infiltratie dienen toegepast te worden wanneer het af te wateren oppervlak onaanvaardbare verontreinigingen kan bevatten (druk bereden wegen, industrieterreinen, wegen in industrieterreinen, ...).

In waterwingebieden, ecologisch kwetsbare gebieden dient het te infiltreren water op kwaliteit te worden beoordeeld, zodat de conclusie kan zijn dat infiltreren van het regenwater dat er van verharde oppervlakken afstroomt niet aangewezen is. Op terreinen met verontreinigde ondergronden zal men infiltratie vermijden.

Open voorzieningen worden verkozen, omdat ze doorgaans goedkoper zijn dan gesloten voorzieningen. Voldoende ruimte dient echter voorhanden te zijn.

## 4.1. Onmiddellijke berging in structuur

### 4.1.1. *Berging op daken: groendaken*

Gezien de beperkte afvoervolumes lijkt berging in open voorzieningen zonder infiltratie voor particulieren weinig realistisch. Wanneer er geborgen dient te worden, gebeurt dat best in een regenwaterput, waar de waterkwaliteit door de afsluiting bewaard kan worden en het regenwater ook voor hergebruik in aanmerking komt. Een andere mogelijkheid is het hemelwater op een of andere manier te bufferen op het dak (bv. instuwdaken, groendaken).

In principe is het mogelijk om regenwater op platte daken op te stuwen tot een ingestelde hoogte en daardoor de afvoer te vertragen en te bufferen (instuwdaken). De volgende bouwtechnische aspecten zijn van primordiaal belang:

- een absolute waterdichtheid dient op lange termijn gegarandeerd te zijn;
- de dakstructuur dient de supplementaire bovenbelasting te kunnen weerstaan.

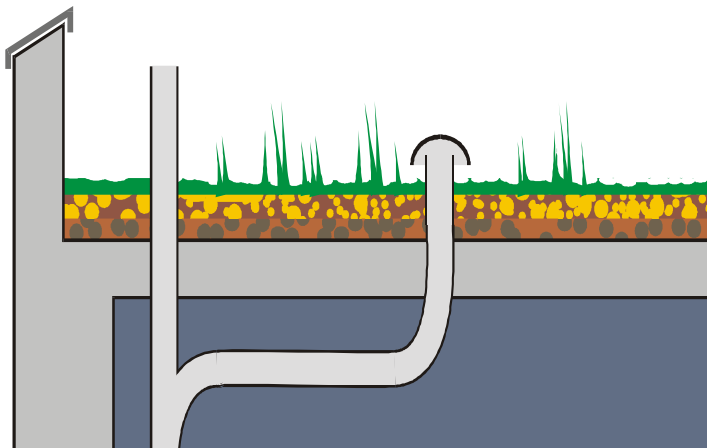
Een ander praktisch voorbeeld van de berging op daken zijn groendaken, welke hieronder verder worden toegelicht. Let wel, het is ten zeerste aan te raden de afvoer van een groendak niet aan te sluiten op een hemelwaterput.

Meer praktische informatie over groendaken is terug te vinden in de brochure en de folder over extensieve groendaken uitgegeven door AMINAL, Afdeling Bos & Groen (Mentens *et al.*, 2002).

### A. Beschrijving

Groendaken kunnen worden beschouwd als het equivalent van doorlatende verhardingen voor wat dakoppervlakken betreft. Er dient hierbij wel een onderscheid gemaakt te worden tussen groendaken en daktuinen. Daktuinen zijn platte daken waarop planten, struiken of zelfs bomen groeien. Deze daken hebben in de eerste plaats een decoratieve en/of recreatieve functie. De planten vragen regelmatig onderhoud.

Groendaken hebben in tegenstelling tot daktuinen maar een lichte begroeiing. De begroeiing bestaat bij extensieve groendaken meestal uit een dunne laag geselecteerde mossen die nauwelijks onderhoud vragen en zeer robuust zijn. Het kan op een plat dak, maar ook in helling worden uitgevoerd. Het regenwater zal, eventueel gedeeltelijk, door de planten en het bodemsubstraat worden opgenomen en verdampen. De berging gebeurt in de drainagelaag en het substraat en dient voldoende groot te zijn.



Figuur 4.1

Zowel groendaken als daktuinen kunnen een bijdrage leveren tot de vermindering van de dakafvoer. Projecten met dergelijke daktuinen werden gerealiseerd bijvoorbeeld in Haarlem (mens- en milieuvriendelijk wonen en werken), in Alphen aan den Rijn (Ecolonia), in Amsterdam (renovatieproject) en in Maastricht (Auditorium en parkeergarage).

## **B. Voorwaarden**

De voorwaarden zijn voornamelijk van bouwtechnische aard. De planten moeten een wisselend regime van droogte en bevochtiging kunnen weerstaan en weinig onderhoud en weinig bemesting kunnen verdragen.

## **C. Voordelen**

Naast het decoratieve zijn er de gunstige effecten van de buffering van het regenwater, het aftoppen van de afvoerpieken, de reductie van de vuiluitworp, (doordat de planten schadelijke stoffen opnemen), de temperatuurregeling en de geluidsdemping voor de onderliggende verdieping.

Het vegetatiedak is mooi inpasbaar in het landschap en combineerbaar met nageschakelde infiltratiekommen, ...

## **D. Nadelen**

Bij verzadigde toestand van het dak zal het regenwater toch (geremd) afgevoerd worden, zodat dan het bergend vermogen afneemt.

Een zwaardere dakconstructie moet voorzien worden, wat leidt tot hogere kosten ten opzichte van conventionele daken.

Het betekent ook wat meer onderhoud dan bij conventionele daken.

## **E. Parameters voor het ontwerp**

We verwijzen naar gespecialiseerde literatuur (bv. Mentens *et al.*, 2002).

## **F. Materialen en aanleg**

De volgende opbouw kan worden toegepast (van beneden naar boven):

- dakdichting;
- drainageplaten voor afvoer en buffering van overtollig regenwater;
- anti-worteldoek;
- kunststofsubstraat met een groot wateropnemend vermogen (tot 80 l/m<sup>2</sup>) en gering soortelijk gewicht;
- verankeringsnet;
- vegetatielaag (substraatmengsel);
- beplanting.

De randen dienen uitgevoerd te worden in grind, zodat er geen materiaal kan uitspoelen en de drainage bij piekbelasting toch nog kan gebeuren zonder dat het dak 'overloopt'.



## **G. Beheer**

Hoofdzakelijk in het begin: water geven in droge periodes, controleren en reinigen van afvoeren.

### *4.1.2. Berging in de structuur: waterdoorlatende bestratingen*

Berging van hemelwater kan gebeuren in een waterdoorlatende structuur. Metingen tonen aan dat de afvoer van een hevige regenval gespreid wordt over verschillende uren en zelfs dagen, zodanig dat een sterke vermindering van de piekbelasting optreedt (IWT-project OCW: *Nieuwe types bestratingen voor het bufferen en infiltreren van neerslag en het ontlasten van rioleringen*). Door de bufferende werking van de structuur kunnen de afvoervoorzieningen onderaan de structuur sterk beperkt worden. Een reductie tot 50% mag doorgevoerd worden. Bij voorkeur worden enkele straatkolken voorzien (50% van aantal bij klassieke straatstenen) om een mogelijke vermindering in de tijd van het buffervermogen op te vangen. Voor de overige punten wordt verwezen naar § 3.1.3.

## 4.2. Bergen in open voorzieningen

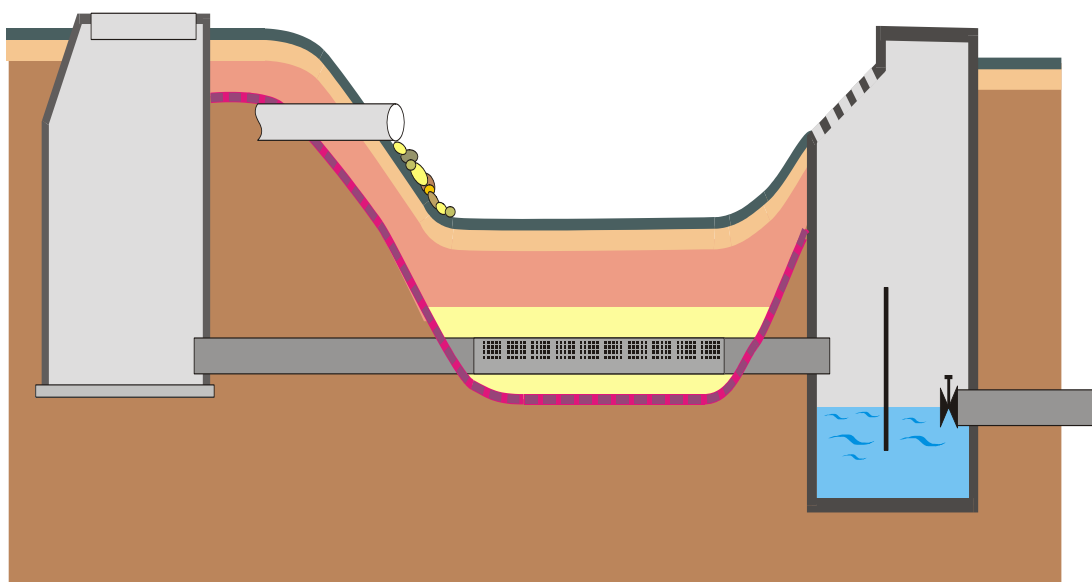
### 4.2.1. Lijnvormige elementen – Berging in lijn

#### A. Beschrijving

Met berging in lijn wordt bedoeld: berging van het regenwater in de afvoervoorziening zelf. De straatkolk wordt aangesloten op een open, niet-infiltrerende afvoervoorziening. Deze kan bestaan uit een gracht voorzien van een afdichtende folie of een kleilaag.

Wanneer een kleilaag voorzien wordt, kan deze best permanent nat staan. Omdat in permanent stilstaand water geurhinder kan ontstaan, is dat enkel aangewezen wanneer de te verwachten verontreinigingen beperkt zijn.

Bekleding met (betonnen) grachtelementen kan niet als ondoorlatend beschouwd worden. Er zijn speciale folies voor afdichting van grachten in de handel te verkrijgen. Deze folies zijn voorzien van een noppenlaag uit vaste kokos. De noppen houden de dekkende grondlaag op zijn plaats.



**Figuur 4.2**

De gracht kan bezaaid worden of eventueel beplant met riet, mattenbies, ... waardoor een zekere primaire zuivering voor een aantal verontreinigingen bekomen kan worden.

In gebieden met extreem hoge waterstanden dient de folie voorzien te worden van de nodige ballast om opwaartse gronddrukken te weerstaan.

Afwaarts wordt een debietbegrenzing voorzien.

De afmetingen van de gracht worden gekozen zodanig dat het te bergen volume gestockeerd kan worden.

## **B. Voorwaarden**

Open grachten als berging kunnen toegepast worden :

- buiten de bebouwde kom;
- waar voldoende ruimte aanwezig is;
- waar de ligging van de nutsleidingen dit toelaat (het is niet aangewezen nutsleidingen onder of vlak naast de afdichting toe te laten);
- waar dit maatschappelijk aanvaardbaar is;
- waar geen gevaar van beschadiging van de afdichting door landbouwvoertuigen of andere bestaat.

## **C. Voordelen**

- kostprijs;
- detecteerbaarheid van incidentele lozingen;
- uitspreiding van benodigde berging over grote lengte.

## **D. Nadelen**

- beperkte toepasbaarheid in woongebieden;
- grachten dienen regelmatig onderhouden te worden;
- waterdichte aansluitingen rondom kolkaansluitingen, huisaansluitingen, duikers e.d. zijn niet evident;
- bijkomende aansluitingen na uitvoering van de open voorziening zijn niet evident.

## **E. Parameters voor het ontwerp**

De dimensionering van de open voorziening in lijn dient, afhankelijk van de plaatselijke situatie, geval per geval bekeken te worden.

## **F. Materialen en aanleg**

- als afdichting kunnen folies in HDPE, bentonietmatten, een kleilaag en dergelijke voorzien worden; recent werd een bentoniet-zand mengsel ontwikkeld dat goede resultaten zou geven, goedkoop is, maar waarmee nog maar weinig ervaring is opgedaan;
- bij hoge grondwaterstand dient een ballastlaag in stortsteen, zand voorzien te worden;
- beplanting kan bestaan uit grassoorten, riet, mattenbies, waterranonkel, lisdodden, ...

## **G. Beheer**

De voorgestelde open voorzieningen zijn onderhevig aan onderhoud. Kolken dienen regelmatig leeggezogen te worden. De begroeiing van de grachten dient jaarlijks te worden onderhouden. Gezien de kwetsbaarheid van de afdichtingen dient dit onderhoud zeer voorzichtig te gebeuren.

De debietbeperkers (knijpleidingen, pompen) vragen een regelmatig (jaarlijks) onderhoud.

#### 4.2.2. Niet-lijnvormige elementen (berging in bekkens)

##### A. Beschrijving

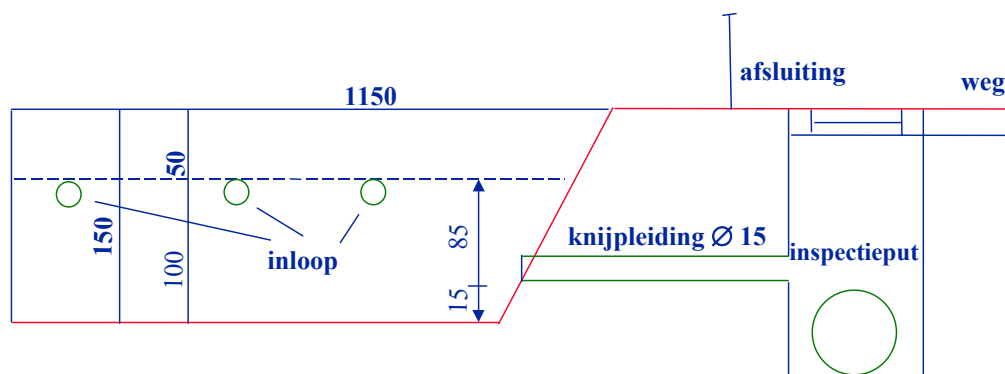
Voor grote verharde oppervlaktes (ordegrootte hectare) kan de berging op één plaats geconcentreerd worden (bergingsbekkens). Deze bekkens kunnen eventueel meerdere functies vervullen zoals bufferen, vertragen, opvang voor bluswater en/of proceswater, klimaatregeling van grote gebouwen, ...

Vaak worden bergingsbekkens gebruikt als voorbehandeling van regenwater dat afstroomt van oppervlakten met een zeker vervuilingsrisico (druk bereden wegen). Zo kunnen bergingsbekkens bijvoorbeeld voorgeschakeld worden aan infiltratiebekken(s) en kunnen ze dienen als een interventiebekken bij ongevallen met water bezoedelende stoffen.

Principieel bestaan open bekkens uit:

- een overstortvoorziening voor de vulling van het bekken;
- een debietbegrenzer voor de lediging van het bekken;
- een voorziening voor slibopvang (eventueel met een spoelvoorziening);
- een noodoverlaat;
- een bergingsvolume;
- een voorziening om het bekken te ledigen.

### LANGSSNEDE



**KNIJPLEIDING : Ø te bepalen in functie van overdruk**  
**Berging minstens 100 m<sup>3</sup>/ha verhard oppervlak**

*Schaal 1/50*

**Figuur 4.3** Bufferbekken met knijpleiding onderaan

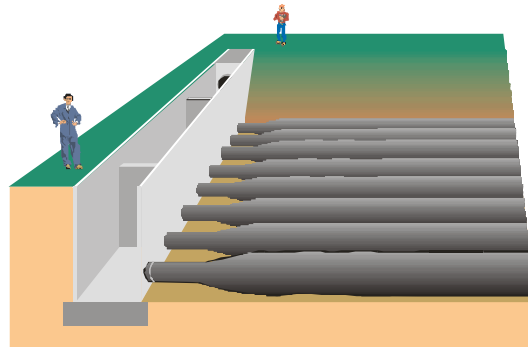
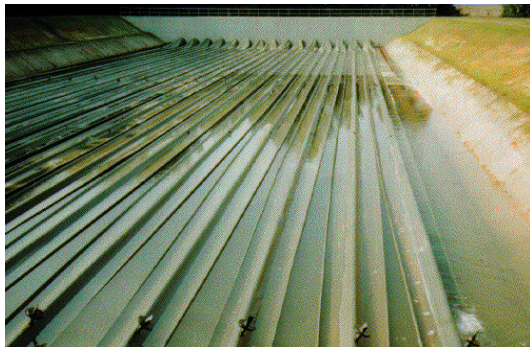
De bekkens kunnen opgebouwd zijn als:

- een vijver voorzien van een ondoorlatende folie of kleilaag;
- een bekken in beton;
- een 'broek' met een sterk natuurtechnische inslag (zie figuur 4.4).



**Figuur 4.4**

Een ander voorbeeld is de uitvoering met flexibele tubes die het teveel aan water bergen en later weer geleidelijk worden leeggepompt (zie figuur 4.5). Deze tubes kunnen in regenbassins, blusvijvers, e.d. worden geplaatst.



**Figuur 4.5**

## **B. Voorwaarden**

Open bekkens kunnen toegepast worden om het regenwater van grote verharde oppervlaktes te bergen. Voorwaarden voor toepassing zijn:

- voldoende ruimte voorhanden;
- geschikte waterloop in de nabije omgeving van de verharde oppervlakte waarvoor de berging bestemd is;
- grondwaterstand voldoende diep onder het maaiveld.

### C. Voordelen

- maatschappelijk ruimtegebruik wordt op één punt geconcentreerd;
- het kan in het landschap worden ingepast met aangepaste beplanting van de boorden;
- mogelijkheid tot monitoring (multi-purpose) en tot controle vooraleer men in een ander bekken laat infiltreren;
- eenvoudige en efficiënte opslagvoorziening;
- onderhoud is relatief eenvoudig;
- kostprijs is lager dan bij een gesloten bekken;
- bevat het bekken een humuslaag die afgedraineerd wordt, dan kan deze biologisch actieve zone een goede reinigingscapaciteit hebben;
- in de sliblaag kunnen heel wat opgeloste stoffen geïmmobiliseerd worden.

### D. Nadelen

- moeilijk toepasbaar in bebouwde kom;
- ze mogen niet te lang droog staan (wanneer ze beplant zijn met waterminnende planten);
- gevaar voor spelende kinderen;
- voor het ledigen van het bekken moeten bijkomende voorzieningen worden getroffen, zoals filtering door een humuslaag, nabehandeling in een rietveld of in een infiltratiebekken.

### E. Parameters voor het ontwerp

De dimensionering van het open bekken (opslagvolume) gebeurt zoals beschreven in hoofdstuk 5. De eigenlijke dimensionering dient geval per geval te worden bekeken.

Het te voorziene volume is afhankelijk van:

- de opnamecapaciteit van de ontvangende waterloop;
- een eventueel in de vijver aangebrachte biologisch actieve laag (20 à 30 cm dik);
- de gewenste graad van veiligheid;
- de aangesloten verharde oppervlakte;
- de hellingshoek van het talud.

Men zal eventueel voorzien in:

- een schuifafsluiter om in storingsgeval te kunnen ingrijpen;
- een invoerconstructie en noodoverlaat;
- een nageschakelde actief-koolfilter.

### F. Materialen en aanleg

- als afdichting kunnen folies in HDPE, bentonietmatten, een kleilaag en dergelijke voorzien worden; recent werd een bentoniet-zand mengsel ontwikkeld dat goede resultaten zou geven, goedkoop is, maar waarmee nog maar weinig ervaring opgedaan is;
- bij hoge grondwaterstand dient een ballastlaag in stortsteen, zand voorzien te worden;
- vanaf de ondoorlatende bodem kan de opbouw er als volgt uitzien: zand, drainagebuis die uitmondt in een schacht met duikschot, kiezel 8/16 rond de drain, humuslaag;
- beplanting kan bestaan uit grassoorten, riet, mattenbies, waterranonkel, lisdodden, ... ;
- het talud, dat als interne overstort dienstdoet, wordt bekleed met een ondoorlatend, stabiel materiaal: betonplaten, asfalt, ... ;
- nageschakeld kunnen zijn: een overstortconstructie, duikschot, debietbegrenzer.

## **G. Beheer**

De voorgestelde open bekkens zijn onderhevig aan onderhoud. De slibopvanggoot en naastliggende putten moet men regelmatig reinigen. De beplanting dient te worden onderhouden. Ook de debietbegrenzer moet men onderhouden. Controle op de kwaliteit van het afgevoerde water is nodig. Is het water door een ongeval sterk bezoedeld geraakt, dan moet men op korte termijn herstelwerkzaamheden uitvoeren. Om gedurende deze tijd toch het bekken verder te laten functioneren, kan men in een opdeling van het bekken of een omleiding voorzien. Uit de praktijk blijkt dat een ruiming van het slib en/of humuslaag pas na lange werkingstijd nodig is. Verder zal men in het normale groenonderhoud van de beplanting in en rond het bufferbekken voorzien.

### 4.3. Bergen in ondergrondse voorzieningen

#### 4.3.1. Hemelwaterputten

Bij het bouwen of herbouwen van de meeste woningen is de installatie van een hemelwaterput (voor hergebruik) verplicht (B.S., 2004). Bij bestaande woningen is dit niet verplicht, maar de installatie van een hemelwaterput voor hergebruik wordt vaak financieel aangemoedigd door middel van gemeentelijke, provinciale of gewestelijke subsidies.

Het installeren van een hemelwaterput heeft enkel zin als het opvangen hemelwater ook effectief en in voldoende mate gebruikt wordt (o.a. voor toiletspoeling, de wasmachine, het wassen van de auto of het sproeien van de tuin). Onder die omstandigheden leidt een hemelwaterput met hergebruik tot een zekere buffering, maar deze is afhankelijk van vele factoren, wat maakt dat een hemelwaterput voor hergebruik zeker onvoldoende is als equivalent voor een echte buffervoorziening. Indien men hergebruik wil combineren met buffering, dan wordt de overloop van de hemelwaterput voor hergebruik beter naar een aparte buffervoorziening (bijvoorbeeld een infiltratievoorziening) geleid, waardoor de bufferende werking vergroot wordt.

Het hemelwater moet voldoende gebruikt worden. Bij een te lange verblijftijd in de hemelwaterput kan er immers een biologische film ontstaan, waardoor de kwaliteit van het water verlaagt. Dit kan worden vermeden door voldoende gebruiksdebit af te nemen, het water in de put van het licht af te scherm en bij lange periodes zonder gebruik (bijvoorbeeld vakantie) de put te ledigen. Dit is ook de belangrijkste reden om een minimaal gebruik voor te schrijven ter hoogte van een WC of een wasmachine. Indien het gebruiksdebit (tijdelijk) aan de lage kant is, is het gebruik voor de wasmachine (tijdelijk) af te raden. Indien dit systematisch het geval is, kan men het bovenste gedeelte van de hemelwaterput als een buffervolume gebruiken en een extra pomp plaatsen die dit bovenste gedeelte ledigt nadat het tijdens een bui is gevuld.

Bij de installatie en het gebruik van een hemelwaterput moet er rekening gehouden worden met het feit dat:

- er geen rechtstreekse verbinding mag worden gemaakt tussen het hemelwatersysteem en het drinkwatersysteem;
- er een voorfiltering van het hemelwater nodig is;
- het gebruik van hemelwater voor menselijke consumptie, vaat en persoonlijke hygiëne ten zwaarste af te raden is.

Het is verder sterk af te raden om andere verharde oppervlakken dan dakoppervlakken af te laten wateren naar de hemelwaterput, tenzij er specifieke maatregelen worden genomen om de vervuiling van het hemelwater in de put te voorkomen. Ook de afvoer van daken met een rieten of een houten dakbedekking en de afvoer van groendaken worden best niet aangesloten op een hemelwaterput.

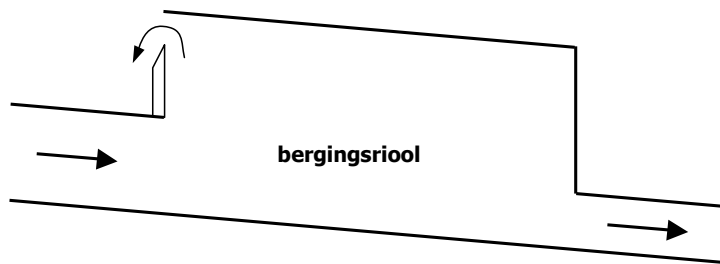
Voor wat de praktische kant van het installeren van een hemelwaterput betreft (met de keuze van de verschillende componenten), wordt verwezen naar de "Waterwegwijzer voor Architecten" (Vaes *et al.*, 2000).



#### 4.3.2. *Lijnvormige elementen (bergingsriool)*

Om buffering te creëren op de regenwaterafvoer kan de rioolleiding vergroot worden. Afwaarts wordt dan een knijpleiding geplaatst om de doorvoer te beperken en de berging in de bergingsriool optimaal te benutten.

Meestal is er ook een overstort nodig (wanneer er een knijpleiding wordt geplaatst). Wanneer deze overstort zich opwaarts van de riool bevindt, spreken we van een bergingsriool (zie figuur 4.6). Wanneer deze overstort zich afwaarts van de riool bevindt, vlak voor de knijpleiding, spreken we van een bergbezinkingsriool (zie figuur 4.7).



**Figuur 4.6**



**Figuur 4.7**

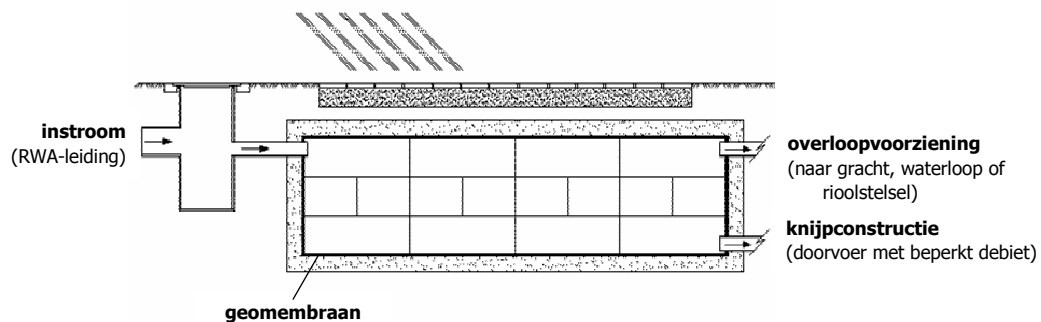
Om een optimaal bufferend effect te hebben op de stroming in het rioelstelsel, moet een bergingsriool zich bevinden in hoofdaansluiting. Dit wil zeggen dat het bergingsriool continu wordt doorstroomd. Om bezinking tegen te gaan, worden de leidingen van het stelsel zelf best niet overgedimensioneerd. Dit betekent dat om water te bergen men beter off-line oplossingen zoekt en dus bekkens voorziet in combinatie met overstorten.

#### 4.3.3. *Niet-lijnvormige elementen (ondergrondse bufferbekkens)*

##### **A. Beschrijving**

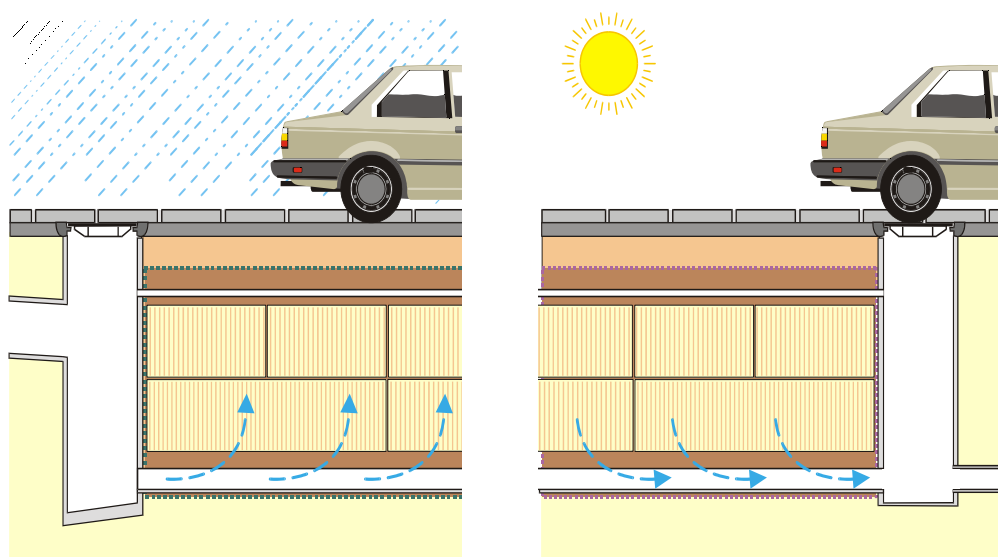
Wanneer men het regenwater van wegen wil bufferen, kan men de regenwaterafvoer naar een ondergronds opvangbekken leiden. Hiervoor gelden, naast een ondergrondse, betonnen constructie, dezelfde mogelijkheden als bij de berging in ondergrondse voorzieningen met infiltratie zoals besproken in § 3.3.3., behalve dat in dit geval het bekken ondoorlatend wordt gemaakt. Vermits de opslagvoorziening zich ondergronds bevindt, kan het bovenliggend terrein voor uiteenlopende doeleinden worden gebruikt. Dit kan specifieke eisen stellen aan de ondergrondse constructie. Figuren 4.8 en 4.9 tonen het principeschema i.v.m. berging van hemelwater door middel van infiltratieblokken, omhuld met een waterdicht geomembraan. Voor de bespreking van het systeem, opgebouwd uit geëxpandeerde kleikorrels, zie 3.3.3 grote oppervlakken.

*Kunststofblokken langs alle zijden waterdoorlatend*



**Figuur 4.8**

*Kunststofblokken langs boven- en onderzijde waterdoorlatend*



**Figuur 4.9**

**B. Voorwaarden**

Een bufferbekken kan zinvol zijn wanneer men terreinen voor andere doeleinden wil reserveren, in een gedeelte van het regenwaterstelsel en/of in de buurt van een overstort. Bij ligging in het grondwater dient men rekening te houden met opdriving. Het opdrivingsrisico dient te worden gecontroleerd. Een studie moet uitwijzen of er corrigerende maatregelen nodig zijn.

### C. Voordelen

- een lagere belasting van het rioolstelsel afwaarts van het bufferbekken, de overstorten en de waterlopen (kan ook nuttig zijn om lokale overstromingsproblemen te voorkomen);
- al naargelang het gebruikte type blokken is er ofwel doorstroming mogelijk van het bekken in alle richtingen ofwel enkel verticaal en kan het bufferbekken zowel van boven als langs beneden gevoed worden, bij berging in geëxpandeerde kleikorrels is voeding langs alle zijden mogelijk;
- compacte bouw en snelle montage (lichtgewichtblokken); geëxpandeerde kleikorrels worden geblazen vanuit grote citernewagens;
- belastbaar met zwaar verkeer bij een minimale gronddekking van 70 cm.
- Bij opbouw met geëxpandeerde kleikorrels: vormonafhankelijk, hoge specifieke draagkracht (15 ton /m<sup>2</sup>), onmiddellijke consolidatie, reinigende capaciteit, behoud van eigenschappen in de tijd, herbruikbaar.

### D. Nadelen

- niet toegankelijk, tenzij langs de inspectie- of verdeelputten.

### E. Parameters voor het ontwerp

Voor het ontwerp van een bufferbekken zijn de ogenblikkelijke piekdebieten en antecedente regenvolumes belangrijk. Er moet ook rekening gehouden worden met voorschriften aangaande de maximaal af te voeren debiet.

Het nodige buffervolume kan worden geschat in functie van het ledigingsdebiet en de terugkeerperiode waarmee de overstort in werking treedt (zie hoofdstuk 5). Een meer nauwkeurige analyse van het hydraulisch functioneren kan bekomen worden via een hydrodynamische simulatie.

Om aanslibbing te voorkomen dient het systeem voorzien te worden van een voorfiltering (cf. infiltratiesystemen).

Bij een hoge grondwaterstand dient het opdrijvend vermogen nagerekend te worden.

### F. Materialen en aanleg

#### *Kunststofblokken langs alle zijden waterdoorlatend*

- de infiltratieblokken in kunststofmateriaal zijn omhuld met geomembraan;
- het bufferbekken wordt rondom aangelegd in een 20 cm dik funderingszand, dit om beschadiging door eventuele stenen enz. te voorkomen;
- een gronddekking van 60 à 70 cm moet voorzien worden bij belasting door zwaar verkeer;
- het geomembraan wordt in situ dichtgelast;
- bijzondere aandacht dient te gaan naar de afwerking van de aansluitingen.

#### *Kunststofblokken langs boven en onderzijde waterdoorlatend*

- de blokken in kunststofmateriaal zijn aan de boven- en onderkant bekleed met geotextiel;
- de drainagebuizen onder de blokken worden geplaatst in een drainerend grindbed;
- een grindbed wordt eveneens voorzien op de blokken en doet dienst als ontluchting;

- de hele bergingsconstructie wordt omhuld met een geomembraan;
- het geomembraan wordt in situ dichtgelast;
- bijzondere aandacht dient te gaan naar de afwerking van de aansluitingen;
- een minimale gronddekking van 30 cm dient voorzien te worden;
- inspectieputten, zeef- en zandvangputten, koolwaterstofafscielders, debietregelaars, noodoverlaatputten, terugslagkleppen.

*Structuren opgebouwd uit geëxpandeerde kleikorrels*

De volledige omschrijving van de infiltratievoorziening zoals weergegeven onder § 3.3.3 is bruikbaar voor situaties waar het grondwater hoger staat dan het bekken, mits het doorlatend doek vervangen wordt door een waterdicht doek. Het bekken heeft dan alleen een bufferfunctie.

Het enige bijkomende nadeel dat de nodige aandacht vraagt is het opdrijvend vermogen. Bij een hoge grondwaterstand of bij een bekken met grote diepte dient het opdrijvend vermogen geneutraliseerd te worden door voldoende ballast op het bekken aan te brengen. Doorgaans is een gronddekking van 1 m voldoende.

## **G. Beheer**

Onderhoud wordt uitgevoerd telkens vanuit de verdelingsputten.



## 5. Dimensionering

### 5.1. Algemene dimensioneringsmethodologie

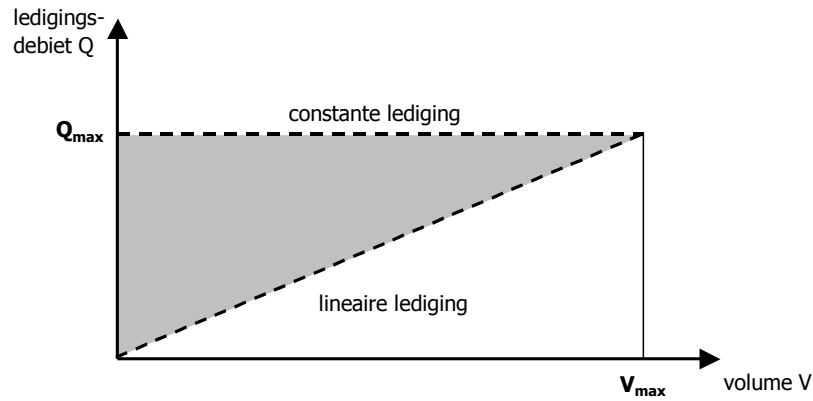
#### 5.1.1. Algemene bufferwaarden

Typisch aan bronmaatregelen is dat ze een vrij grote beschikbare buffering hebben die relatief traag geleidigd wordt. Hierdoor is de opeenvolging van de neerslag zeer belangrijk. De neerslagvariabiliteit in ons klimaat is zo groot dat een correcte beoordeling van de werking van dergelijke buffervoorzieningen enkel kan indien er gebruik wordt gemaakt van continue lange-termijnsimulaties. Bij het gebruik van enkelvoudige buien voor de dimensionering van buffervoorzieningen (zoals bv. bij een hydrodynamische simulatie) worden de nodige volumes systematisch onderschat, omdat er onvoldoende rekening wordt gehouden met de voorafgaandelijke vulling. De buffervolumes kunnen daarentegen wel bepaald worden met een bakmodel via een continue lange-termijnsimulatie. Het ledigingsdebiet speelt hierbij een cruciale rol. Dit ledigingsdebiet kan echter niet altijd als een constante worden beschouwd. In tabel 5.1 wordt een overzicht gegeven van de parameters die het ledigingsdebiet beïnvloeden in functie van het type buffervoorziening.

**Tabel 5.1 Parameters die het ledigingsdebiet beïnvloeden in functie van het type buffervoorziening (Vaes & Berlamont, 2004)**

type buffervoorziening	parameters die het ledigingsdebiet beïnvloeden
hemelwaterput met hergebruik	Variabel gebruik tijdens de dag en van dag tot dag. Dit heeft slechts een beperkte invloed als het dagelijks gebruik beperkt is in vergelijking met het buffervolume. Het ledigingsdebiet kan dan constant worden verondersteld. De vaak kleine doorvoerdebieten zullen meestal leiden tot een beperkt afvlakkend effect.
groendaken	De doorvoerrelatie wordt sterk bepaald door de constructiedetails aan de rand van het dak.
infiltratievoorziening	De infiltratiecapaciteit varieert met waterhoogte (evenredig met het geborgen volume), maar de doorvoer kan meestal toch min of meer benaderd worden als onafhankelijk van de berging. De infiltratiecapaciteit neemt af in de tijd door colmatatie. De infiltratiecapaciteit wordt beïnvloed door de stand van het grondwater: zowel seizoenschommelingen als meerjarige schommelingen zijn mogelijk
doorlatende verharding	Idem als bij een infiltratievoorziening: de onderbouw bepaalt in grote mate de globale infiltratiecapaciteit. De uitstroom kan bij benadering onafhankelijk van de berging worden beschouwd. De vaak kleine globale infiltratiecapaciteiten zullen meestal leiden tot een beperkt afvlakkend effect.
buffervoorziening met afgeknepen uitlaat	Het doorvoerdebiet varieert meer of minder met de waterhoogte: het type uitlaatconstructie bepaalt in grote mate de doorvoerrelatie: zo zal bijvoorbeeld een knijpleiding tot een meer lineaire karakteristiek leiden, terwijl een wervelventiel tot een meer constante doorvoer zal leiden.

De verschillende randvoorwaarden uit tabel 5.1 kunnen vertaald worden in verschillende relaties tussen berging en ledigingsdebiet voor het bakmodel. Is het ledigingsdebiet constant en onafhankelijk van het volume aan water dat geborgen wordt, dan spreekt men van een 'constante lediging'. Is het ledigingsdebiet een lineaire functie van het volume aan water dat geborgen wordt (hoe meer water er geborgen wordt, hoe groter het ledigingsdebiet), dan spreekt men van een 'lineaire lediging'. In werkelijkheid ligt de eigenlijke ledigingskarakteristiek vaak tussen deze beide extremen in (zie figuur 5.1).



**Figuur 5.1** Domein van beschouwde ledigingsrelaties voor buffervoorzieningen (aangeduid door de grijze zone en begrensd door een lineaire en een constante karakteristiek) (Vaes & Berlamont, 2004)

In de meeste gevallen zullen de constructieve details van de buffervoorziening een belangrijke invloed hebben op de relatie tussen berging en ledigingsdebiet, zoals bijvoorbeeld bij een bufferbekken met afgeknepen doorvoer, waarbij het type uitlaatconstructie sterk bepalend is. Ook voor doorlatende verhardingen en infiltratievoorzieningen is het mogelijk om een enkelvoudig ledigingsdebiet te definiëren als de integraal van de gedistribueerde infiltratiedebieten.

Tabel 5.2 toont de resultaten van de continue lange-termijnsimulaties (100 jaar historische neerslag, Ukkel, 1898-1997, tijdstap: 10 minuten) voor de twee uiterste ledigingsrelaties (lineair versus constant). De parameters berging en ledigingsdebiet zijn gedeeld door de toevoerende verharde oppervlakte, zodat tabel 5.2 kan worden gebruikt voor alle schalen (conversies zijn:  $10 \text{ m}^3/\text{ha} = 1 \text{ mm}$ ,  $1 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{ha}) = 0,36 \text{ mm}/\text{u}$ ). Het gebruikte oppervlakte-afstromingsmodel is 100 % afvoer. Er zijn dus geen verliezen, maar verliezen volgens een vaste afvoercoëfficiënt kunnen eenvoudig worden ingerekend door de toevoerende verharde oppervlakte te vermenigvuldigen met deze vaste afvoercoëfficiënt. Wanneer de stromingstijd naar de buffervoorziening groter wordt dan 20 minuten, dan dient ook de concentratietijd als parameter in rekening te worden gebracht. Voor de dimensionering van de buffervolumes bij grotere concentratietijden wordt er verwezen naar de "Toelichting bij de Code van Goede Praktijk voor het ontwerp van rioleringsystemen" (Vaes *et al.* 2004a), meer specifiek naar § 2.3.2 *Buffering bij grotere gebieden*.

**Tabel 5.2 Nodige buffervolumes in functie van het maximaal ledigingsdebiet en de terugkeerperiode van de overlaat voor een constante en lineaire ledigingsrelatie bij een concentratietijd van 10 minuten (Vaes & Berlamont, 2004).**

ledigingsdebiet	terugkeerperiode					
	½ jaar	1 jaar	2 jaar	5 jaar	10 jaar	20 jaar
	lineaire lediging					
<b>50 l/(s.ha)</b>	48 m <sup>3</sup> /ha	78 m <sup>3</sup> /ha	111 m <sup>3</sup> /ha	159 m <sup>3</sup> /ha	198 m <sup>3</sup> /ha	240 m <sup>3</sup> /ha
<b>40 l/(s.ha)</b>	57 m <sup>3</sup> /ha	87 m <sup>3</sup> /ha	121 m <sup>3</sup> /ha	172 m <sup>3</sup> /ha	214 m <sup>3</sup> /ha	259 m <sup>3</sup> /ha
<b>30 l/(s.ha)</b>	69 m <sup>3</sup> /ha	100 m <sup>3</sup> /ha	135 m <sup>3</sup> /ha	188 m <sup>3</sup> /ha	232 m <sup>3</sup> /ha	279 m <sup>3</sup> /ha
<b>25 l/(s.ha)</b>	75 m <sup>3</sup> /ha	107 m <sup>3</sup> /ha	144 m <sup>3</sup> /ha	199 m <sup>3</sup> /ha	244 m <sup>3</sup> /ha	294 m <sup>3</sup> /ha
<b>20 l/(s.ha)</b>	84 m <sup>3</sup> /ha	117 m <sup>3</sup> /ha	155 m <sup>3</sup> /ha	213 m <sup>3</sup> /ha	261 m <sup>3</sup> /ha	313 m <sup>3</sup> /ha
<b>15 l/(s.ha)</b>	96 m <sup>3</sup> /ha	133 m <sup>3</sup> /ha	176 m <sup>3</sup> /ha	242 m <sup>3</sup> /ha	298 m <sup>3</sup> /ha	359 m <sup>3</sup> /ha
<b>10 l/(s.ha)</b>	118 m <sup>3</sup> /ha	159 m <sup>3</sup> /ha	207 m <sup>3</sup> /ha	280 m <sup>3</sup> /ha	342 m <sup>3</sup> /ha	411 m <sup>3</sup> /ha
<b>5 l/(s.ha)</b>	167 m <sup>3</sup> /ha	220 m <sup>3</sup> /ha	281 m <sup>3</sup> /ha	372 m <sup>3</sup> /ha	450 m <sup>3</sup> /ha	534 m <sup>3</sup> /ha
<b>2 l/(s.ha)</b>	259 m <sup>3</sup> /ha	330 m <sup>3</sup> /ha	410 m <sup>3</sup> /ha	526 m <sup>3</sup> /ha	622 m <sup>3</sup> /ha	725 m <sup>3</sup> /ha
<b>1 l/(s.ha)</b>	432 m <sup>3</sup> /ha	547 m <sup>3</sup> /ha	671 m <sup>3</sup> /ha	846 m <sup>3</sup> /ha	988 m <sup>3</sup> /ha	1137 m <sup>3</sup> /ha
	constante lediging					
<b>50 l/(s.ha)</b>	27 m <sup>3</sup> /ha	49 m <sup>3</sup> /ha	75 m <sup>3</sup> /ha	115 m <sup>3</sup> /ha	150 m <sup>3</sup> /ha	188 m <sup>3</sup> /ha
<b>40 l/(s.ha)</b>	35 m <sup>3</sup> /ha	59 m <sup>3</sup> /ha	87 m <sup>3</sup> /ha	130 m <sup>3</sup> /ha	167 m <sup>3</sup> /ha	207 m <sup>3</sup> /ha
<b>30 l/(s.ha)</b>	46 m <sup>3</sup> /ha	71 m <sup>3</sup> /ha	101 m <sup>3</sup> /ha	148 m <sup>3</sup> /ha	188 m <sup>3</sup> /ha	232 m <sup>3</sup> /ha
<b>25 l/(s.ha)</b>	52 m <sup>3</sup> /ha	79 m <sup>3</sup> /ha	111 m <sup>3</sup> /ha	159 m <sup>3</sup> /ha	199 m <sup>3</sup> /ha	244 m <sup>3</sup> /ha
<b>20 l/(s.ha)</b>	60 m <sup>3</sup> /ha	88 m <sup>3</sup> /ha	121 m <sup>3</sup> /ha	171 m <sup>3</sup> /ha	214 m <sup>3</sup> /ha	261 m <sup>3</sup> /ha
<b>15 l/(s.ha)</b>	72 m <sup>3</sup> /ha	103 m <sup>3</sup> /ha	138 m <sup>3</sup> /ha	191 m <sup>3</sup> /ha	236 m <sup>3</sup> /ha	284 m <sup>3</sup> /ha
<b>10 l/(s.ha)</b>	89 m <sup>3</sup> /ha	123 m <sup>3</sup> /ha	162 m <sup>3</sup> /ha	221 m <sup>3</sup> /ha	270 m <sup>3</sup> /ha	324 m <sup>3</sup> /ha
<b>5 l/(s.ha)</b>	124 m <sup>3</sup> /ha	166 m <sup>3</sup> /ha	214 m <sup>3</sup> /ha	285 m <sup>3</sup> /ha	345 m <sup>3</sup> /ha	410 m <sup>3</sup> /ha
<b>2 l/(s.ha)</b>	182 m <sup>3</sup> /ha	236 m <sup>3</sup> /ha	296 m <sup>3</sup> /ha	387 m <sup>3</sup> /ha	464 m <sup>3</sup> /ha	547 m <sup>3</sup> /ha
<b>1 l/(s.ha)</b>	261 m <sup>3</sup> /ha	327 m <sup>3</sup> /ha	398 m <sup>3</sup> /ha	499 m <sup>3</sup> /ha	580 m <sup>3</sup> /ha	665 m <sup>3</sup> /ha

### 5.1.2. Toepassingdomein

In principe is deze dimensioneringsmethode toepasbaar voor alle in deze katern beschreven constructieve bronmaatregelen. De dimensionering is zodanig opgesteld dat de afmetingen schaalbaar zijn met de grootte van het af te wateren oppervlak (zij het particulier, industrieel of openbaar domein). Deze schaalbaarheid is van toepassing binnen bepaalde grenzen, namelijk zolang de afstromingstijd (d.i. de concentratietijd) beperkt blijft en de afstroming op een gravitaire manier gebeurt zonder niet-lineaire controlestructuren.

De afstromingstijd moet in de buurt van 10 minuten liggen, anders dient de concentratietijd specifiek in rekening gebracht te worden. Dit leidt tot een begrenzing van de toepassing van de basisregels voor gebieden tot ongeveer 10 ha. Hoe groter de concentratietijd (en dus hoe groter de intrinsieke afvlakking door de afstroming opwaarts van de buffervoorziening), hoe kleiner de nodige buffering. Het is dus nuttig om het effect van de concentratietijd in het ontwerp in rekening te brengen om geen overgedimensioneerde buffering te bekomen. Grotere concentratietijden kunnen zich voordoen bij grote afwateringsgebieden, maar ook de vorm van het afwateringsgebied speelt hierbij een belangrijke rol. Zo zullen de nodige buffervolu-



mes voor een vierkant afwateringsgebied groter zijn in vergelijking met een langgerekte weg met dezelfde oppervlakte.

De instroom in een buffervoorziening kan beïnvloed worden door parameters van het opwaartse afwateringsgebied. Aan de ene kant kan de stromingstijd tot de buffervoorziening de piekdebieten afvlakken. Aan de andere kant kunnen er verliezen (d.i. plasvorming, infiltratie, verdamping) optreden bij niet volledig verharde oppervlakken. De verliezen in het afwateringsgebied (vooral door infiltratie) kunnen de instroom in de buffervoorziening beïnvloeden. Toch blijkt dat de vereiste buffervolumes nauwelijks worden beïnvloed voor hoge terugkeerperioden voor de overloop, indien de infiltratiecapaciteit en oppervlakteberging beperkt zijn. Dit komt doordat de buffervolumes hoofdzakelijk bepaald worden door het volume van korte intense buien en de opeenvolging ervan. Voor significante infiltratiecapaciteiten in combinatie met een significante oppervlakteberging, kan dit wel een aanzienlijke invloed hebben en moet dit dan ook in rekening gebracht worden. In de praktijk is het echter vaak moeilijk om een goede inschatting te maken van de parameters voor het verliesmodel.

De hier beschreven dimensioneringsregels zijn dus niet zonder meer toepasbaar op rioelstelsels en overstorten. Daarnaast kan de vervuilingsgraad ook een beperkende factor zijn.

### 5.1.3. *Keuze van de optimale dimensies*

Het belangrijkste doel van een bronmaatregel is het afvlakken van de piekdebieten naar een afwaarts afwateringssysteem toe, zoals een rioelstelsel of een waterloop. Er zijn echter vele manieren om de piekdebieten af te vlakken en de resultaten kunnen sterk verschillend zijn in termen van de hydraulische impact op het afwaarts afwateringssysteem. Met andere woorden, de vraag is: wanneer er een buffervoorziening wordt gebouwd met een bepaald bergingsvolume, wat is dan de optimale wijze om de lediging van de buffervoorziening te controleren? Er is geen rechtlijnig en ondubbelzinnig antwoord op deze vraag omdat dit afhangt van de gekozen prioriteiten voor de afwaartse impact.

Er is steeds een beperkte kans op het overlopen van de bronmaatregel, omdat het onmogelijk is om een buffervolume te kiezen waarmee om het even welke extreme bui wordt geborgen. Om extreme buien te bufferen stijgt het nodige bergingsvolume drastisch met de terugkeerperiode voor de overloop (tabel 5.2). Tabel 5.2 toont ook dat het reduceren van het ledigingsdebiet tot kleine waarden veel grotere buffervolumes vereist. Wanneer het globale effect van de buffervoorziening wordt beschouwd (dit is de combinatie van het ledigingsdebiet en het overloopdebiet), is het meestal belangrijker om de kans op een extreme overloop te minimaliseren dan om een verdere reductie van het ledigingsdebiet te beogen.

De reductie van het ledigingsdebiet naar zeer lage waarden mag dus geen objectief op zichzelf zijn, zonder de globale afvlakking te bekijken. Reeds met middelmatige ledigingsdebieten kan een significante reductie van de frequentie (of toename van de terugkeerperiode) bekomen worden in vergelijking met de originele frequenties (of terugkeerperioden) van de niet gebufferde afwatering van de verharde oppervlakte.

Het is dus niet noodzakelijk om de terugkeerperiode van de overloop zo groot te kiezen dat de meest extreme bui, die men wenst af te vlakken, wordt geborgen. Hierbij kan voor de te kiezen terugkeerperiode voor de overloop rekening worden gehouden met de aard van de waterloop:

- Indien het een beperking van de zomerse piekafvoer betreft op een waterloop die vooral in de winter tot overstroming leidt, moet de terugkeerperiode van de overloop niet zo hoog worden gekozen (bijvoorbeeld 2 jaar), wat bij een bepaald buffervolume tot een lager ledigingsdebiet zal leiden. In de zomer zullen er dan wat frequenter hoge pieken voorkomen ten gevolge van het overlopen van de buffering, maar deze zullen niet snel tot

overstroming leiden. In de winter zal het ledigingsdebiet dus wat kleiner zijn, waardoor de kans op overstroming in de winter ook kan worden verminderd. Opwaartse bufferbekkens zijn voor het vermijden van winteroverstromingen echter zelden effectief.

- Indien het een beperking van de zomerse piekafvoer betreft op een waterloop die vooral in de zomer tot overstroming leidt, wordt de terugkeerperiode van de overloop vrij groot gekozen (bijvoorbeeld 5 of 10 jaar). Op die manier zullen zeer zelden piekafvoeren vanuit de buffering voorkomen in de zomer. Opwaartse buffervoorzieningen zijn vooral in dit geval effectief.

De optimale keuze van het buffervolume en het ledigingsdebiet hangt ook samen met het afwaartse afwateringssysteem en met het afvlakkend effect dat men daar wil bekomen. De belangrijkste parameter van het afwaartse systeem dat bij deze evaluatie komt kijken, is de concentratietijd. Dit is in dit geval de afstromingstijd tussen de buffervoorziening en de plaats waar men een bepaald effect wil bekomen. Aangezien men slechts één vrijheidsgraad over heeft eens de terugkeerperiode van de overloop vast ligt (namelijk het maximaal ledigingsdebiet of het beschikbare buffervolume), kan men dit effect slechts in één locatie vastleggen. Hoe verder afwaarts, hoe meer het effect van de buffervoorziening zal afnemen. Om deze vrijheidsgraad in te vullen, dient er een optimale ledigingstijd te worden gekozen voor de buffervoorziening, om zo het gewenste effect in het afwaartse afwateringssysteem te bekomen.

Problemen in het afwaartse ontvangende oppervlaktewater met een concentratietijd van meer dan 12 à 24 uur ten opzichte van de locatie van de buffering, zijn niet effectief op te lossen met (enkel) een buffering op deze locatie. Eventueel kan een bijkomende buffering meer afwaarts wel een oplossing bieden. Een lokale buffering wordt dus gebouwd met het oog op een afvlakking van het piekdebiet in het afwaartse systeem en kan maar tot een optimale buffering leiden voor een welbepaalde plaats of zone in het afwaartse systeem.

#### *5.1.4. Vergelijking met de oude ontwerpregels*

De dimensioneringsregels uit vroegere publicaties zijn achterhaald, omdat ze onvoldoende rekening houden met de opeenvolging van de neerslag en de voorafgaande neerslagcondities. Hierdoor worden de terugkeerperioden voor de overloop systematisch onderschat. Bovendien zijn kleine ledigingsdebieten vaak niet optimaal en wordt er geen rekening gehouden met de concentratietijd van het opwaartse afwateringssysteem.

Wanneer een buffervoorziening wordt ontworpen met ontwerpbuïen, worden de nodige buffervolumes systematisch onderschat omdat de voorafgaande neerslag en de variabiliteit ervan onvoldoende in rekening kunnen worden gebracht.

## 5.2. Dimensionering infiltratievoorzieningen

### 5.2.1. Algemeen

Bij het ontwerp van een infiltratievoorziening gaat de voorkeur uit naar een ondiepe, begroei-de, open infiltratievoorziening. Een open infiltratievoorziening heeft verscheidene voordelen. Zo is o.a. de inspectie en het onderhoud eenvoudiger. Bovendien kan een deel van het aanwezige water dan via evapotranspiratie in de natuurlijke watercyclus worden opgenomen. Een begroeiing van de infiltratievoorziening zorgt voor een zuiverende werking waardoor het risico op vervuiling van het grondwater vermindert. Daarnaast zorgen de wortels van de grassen en planten voor een meer open bodemstructuur, waardoor het water gemakkelijker kan infiltreren. De infiltratiecapaciteit zal meestal afnemen in de tijd door colmatatie (dichtslibbing). Een goede aanleg en een goed onderhoud zijn dan ook noodzakelijk om de infiltratie te blijven garanderen. Hierbij zal een begroeiing (bijvoorbeeld gras) op de bodem van de infiltratiekom een gunstige invloed hebben op de infiltratiecapaciteit. Aangezien de ledigingstijden beperkt zijn bij goed gedimensioneerde buffervoorzieningen, zal een normale begroeiing geen last hebben van het tijdelijk onder water komen.

De dimensionering gebeurt overeenkomstig de algemene bufferwaarden (§ 5.1.1), met als belangrijkste parameters de terugkeerperiode voor de overloop en de ledigingstijd. Het ledigingsdebiet is op zich geen ontwerpparameter, maar volgt uit de optimalisatie op basis van de terugkeerperiode voor de overloop en de ledigingstijd. Het ledigingsdebiet via infiltratie kan berekend worden uit de infiltratiecapaciteit, de toevoerende verharde oppervlakte en de infiltratie-oppervlakte:

$$\text{ledigingsdebiet} = \frac{\text{infiltratiecapaciteit} \times \text{infiltratie - oppervlakte}}{\text{afvoerende oppervlakte} + \text{infiltratie - oppervlakte}}$$

Hoe groter de infiltratie-oppervlakte, hoe meer ruimte er is voor het water om te infiltreren, waardoor het ledigingsdebiet zal stijgen. Bij de aanleg van een infiltratievoorziening gaat de voorkeur dan ook eerder uit naar een ondiepe, grote infiltratievoorziening dan naar een diepe, kleine infiltratievoorziening.

De infiltratiecapaciteit die in bovenstaande vergelijking dient te worden ingevuld, is de ontwerp-infiltratiecapaciteit. Dit is de gemeten infiltratiecapaciteit (op het niveau van de bodem van de infiltratievoorziening), gedeeld door de ontwerpfactor (zie § 5.5.3). Wil men enkel een ruwe inschatting verkrijgen van de te voorziene hoeveelheid berging, dan kan de infiltratiecapaciteit uit tabel 5.4 gebruikt worden (zie § 5.5.1), gedeeld door een veiligheidscoëfficiënt gelijk aan 20.

Indien de lediging enkel via verdamping verloopt, geldt een analoge formule maar dan met de verdampingscapaciteit i.p.v. de infiltratiecapaciteit. De verdampingscapaciteit is echter beperkt en erg variabel over het jaar, de dag en afhankelijk van de meteorologische condities.

Wanneer er een significante seizoensinvloed is vanwege de grondwatertafel op de infiltratiecapaciteit, dan kan dit gemodelleerd worden door de ledigingsrelaties te laten variëren van seizoen tot seizoen. In de meeste gevallen wordt de piekafvoer vanwege verharde oppervlakken vooral veroorzaakt door korte hevige zomeronweders, waardoor het gebruik van de infiltratiecapaciteit bij zomercondities als een constante over het jaar, een aanvaardbare benadering is. Wanneer de invloed van de grondwatertafel significant is, zal de lediging door infiltratie worden beperkt. Daarom is het beter om structurele maatregelen te nemen om dit tegen te gaan (bijvoorbeeld door het gebruik van drains), dan te proberen de invloed hiervan in te schatten.

## 5.2.2. Doorlatende verhardingen

### A. Algemeen

Bij doorlatende verhardingen wordt zoveel mogelijk geïnfiltreerd op de locatie zelf waar de neerslag valt. Indien de ondergrond voldoende doorlatend is, kan de doorlatende verharding worden aangebracht op de natuurlijke ondergrond, eventueel met een beperkte onderbouw die voldoende doorlatend moet zijn (eventueel afhankelijk van de gebruiksfunctie en van de vorstgevoeligheid van de ondergrond). Indien de ondergrond niet voldoende doorlatend is, kan dit worden verbeterd via een voldoende grote drainagekoffer die voor een extra buffering zorgt of een drainagekoffer met een afvoerdrain die ook een (vertraagde) afvoer garandeert. Ook indien de grondwatertafel te hoog ligt, kan om dezelfde reden een afvoerdrain worden voorzien.

### B. Dimensionering

Voor doorlatende verhardingen is het ledigingsdebiet gelijk aan de geïntegreerde infiltratiecapaciteit over de oppervlakte van de doorlatende verharding. Deze wordt echter niet enkel bepaald door de topafwerking, maar ze wordt meestal ook sterk beïnvloed door de onderbouw en de originele ondergrond. Het is steeds de minst doorlatende laag die bepalend is.

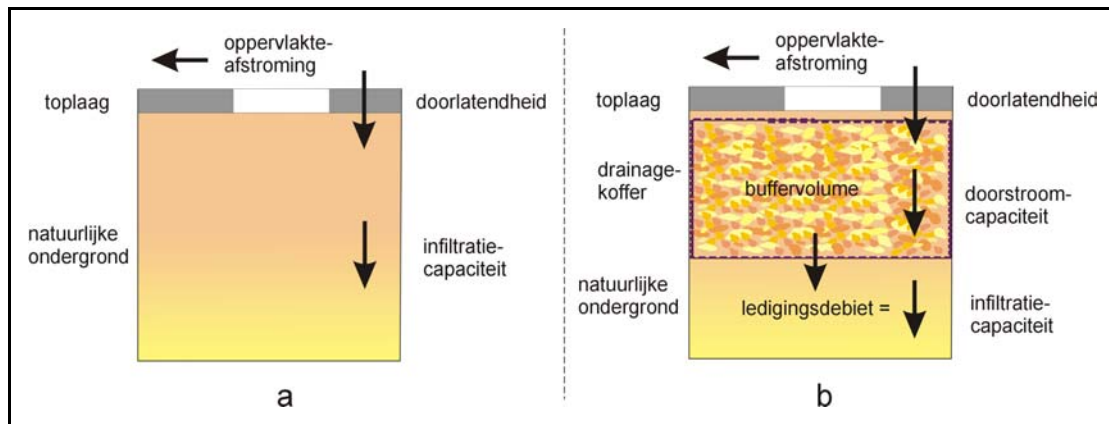
Ook voor doorlatende verhardingen kunnen de algemene bufferwaarden bij benadering worden gehanteerd voor de bepaling van het nodige buffervolume en/of de terugkeerperiode van de oppervlakte-afstroming. De oppervlakte-afstroming vertegenwoordigt de 'overloop' van de (ondergrondse) buffering. De terugkeerperiode van deze oppervlakte-afstroming kan worden ingeschat op basis van de doorlatendheid van de toplaag (zie tabel 5.3).

**Tabel 5.3 Relatie tussen terugkeerperiode en neerslagintensiteit over een duur van 10 minuten (Vaes, 1999).**

neerslagintensiteit	terugkeerperiode
116 l/(s.ha) = 42 mm/u	1 jaar
146 l/(s.ha) = 52 mm/u	2 jaar
182 l/(s.ha) = 65 mm/u	5 jaar
209 l/(s.ha) = 75 mm/u	10 jaar
236 l/(s.ha) = 85 mm/u	20 jaar

In tabel 5.3 wordt in functie van de infiltratiecapaciteit van de toplaag de overeenkomstige terugkeerperiode voor de oppervlakte-afstroming weergegeven (op basis van 10 minuten neerslagintensiteiten; meer kortstondige extreme neerslag wordt niet beschouwd). Is de doorlatende verharding in staat om een bui met een maximale 10-minutelijks neerslagintensiteit van 60 mm/u te verwerken, dan zal er eens elke 2 à 5 jaar een (piek)afvoer (oppervlakte-afstroming) voorkomen die niet door de doorlatende verharding kan verwerkt worden en dus elders zal moeten opgevangen worden.

Indien de doorstroomcapaciteit van de natuurlijke ondergrond (bij afwezigheid van een drainagekoffer of een fundering – zie figuur 5.2a) groter is dan de doorlatendheid van de toplaag, dan stopt de dimensionering hier. Is de doorstroomcapaciteit van de natuurlijke ondergrond kleiner dan de doorlatendheid van de toplaag, dan moet er met de doorstroomcapaciteit van de natuurlijke ondergrond gerekend worden (overeenkomstig tabel 5.3) in plaats van met de doorlatendheid van de toplaag. Het gebruikte buffervolume is dan in theorie zeer groot. De doorlatendheid van de ondergrond bepaalt in dat geval dus rechtstreeks de terugkeerperiode van de oppervlakte-afstroming.



**Figuur 5.2** Twee types van doorlatende verhardingen : a) op natuurlijke ondergrond die voldoende doorlatend is, b) met drainagekoffer (toplaag = bestrating met eventueel beperkte funderingslaag) (Vaes *et al.*, 2004b).

Is er wel een drainagekoffer of een fundering onder de doorlatende verharding aanwezig (figuur 5.2b), dan zijn er verschillende mogelijkheden:

- De doorlatendheid van zowel de drainagekoffer of de fundering als van de natuurlijke ondergrond is groter dan de doorlatendheid van de toplaag.
- De doorlatendheid van de drainagekoffer of de fundering is kleiner dan de doorlatendheid van de toplaag.
- De doorlatendheid van de drainagekoffer of fundering is groter dan de doorlatendheid van de toplaag, maar de doorstroomcapaciteit van de natuurlijke ondergrond is kleiner dan de doorlatendheid van de toplaag.

De te gebruiken dimensioneringsmethode hangt dan af van welk van bovenstaande gevallen van toepassing is.

*De doorlatendheid van zowel de drainagekoffer of de fundering als van de natuurlijke ondergrond is groter dan de doorlatendheid van de toplaag.*

In dit geval is de toplaag bepalend voor de dimensionering en dient tabel 5.3 gecombineerd te worden met de doorlatendheid van de toplaag (analoog aan het geval waarbij er geen drainagekoffer of fundering aanwezig is en de doorstroomcapaciteit van de natuurlijke ondergrond groter is dan de doorlatendheid van de toplaag).

*De doorlatendheid van de drainagekoffer of de fundering is kleiner dan de doorlatendheid van de toplaag.*

In dit geval is de doorlatendheid van de drainagekoffer of de fundering bepalend voor de dimensionering en dient tabel 5.3 gecombineerd te worden met de doorstroomcapaciteit van de drainagekoffer of de fundering (analoog aan het geval waarbij er geen drainagekoffer of fundering aanwezig is en de doorstroomcapaciteit van de natuurlijke ondergrond kleiner is dan de doorlatendheid van de toplaag). De doorlatendheid van de natuurlijke ondergrond is in dit geval dus niet van belang.

*De doorlatendheid van de drainagekoffer of fundering is groter dan de doorlatendheid van de toplaag, maar de doorstroomcapaciteit van de natuurlijke ondergrond is kleiner dan de doorlatendheid van de toplaag.*

In dit geval moet de dimensionering opgesplitst worden in twee stappen. In een eerste stap wordt aan de hand van tabel 5.3 de terugkeerperiode voor oppervlakte-afstroming van de doorlatende verharding bepaald. Vervolgens wordt in een tweede stap, aan de hand van het beschikbare volume in de drainagekoffer of de fundering (het poriënvolume), de doorstroomcapaciteit van de natuurlijke ondergrond en de algemene bufferwaarden uit tabel 5.2, de terugkeerperiode bepaald waarbij de drainagekoffer of de fundering vol water staat.

Is deze laatste terugkeerperiode (tweede stap) groter dan de terugkeerperiode waarbij er oppervlakte-afstroming is van de doorlatende verharding (eerste stap), dan is de doorlatendheid van de doorlatende verharding bepalend en zal er eerder oppervlakte-afstroming zijn dan dat het buffervolume of de fundering vol water zal staan.

Is de terugkeerperiode van het gevuld zijn van de drainagekoffer of de fundering (tweede stap) kleiner dan de terugkeerperiode voor oppervlakte-afstroming (eerste stap), dan is de doorstroomcapaciteit van de natuurlijke ondergrond bepalend voor de terugkeerperiode voor oppervlakte-afstroming. De terugkeerperiode voor oppervlakte-afstroming is dan gelijk aan de terugkeerperiode voor het gevuld zijn van de drainagekoffer of de fundering. Er wordt in dit geval niet optimaal gebruik gemaakt van de doorstroomcapaciteit van de doorlatende verharding. Door op basis van de doorstroomcapaciteit en de algemene bufferwaarden uit tabel 5.2 het beschikbare (poriën)volume in de drainagekoffer of de fundering te vergroten zodat de terugkeerperiode voor het vol staan van de drainagekoffer of de fundering gelijk wordt aan de terugkeerperiode voor oppervlakte-afstroming, dan kan het gebruik van de doorlatende verharding geoptimaliseerd worden. Het verder verhogen van dit (poriën)volume heeft geen zin, omdat de doorlatendheid van de toplaag of de doorstroomcapaciteit van het buffervolume in dat geval bepalend zal zijn.

### *5.2.3. Gewone infiltratievoorzieningen*

#### **A. Algemeen**

Een bovengrondse uitvoering van een infiltratievoorziening is te verkiezen boven een ondergrondse uitvoering omwille van de onderhoudsaspecten. Bij een bovengrondse uitvoering is een inpassing in de omgeving en een natuurlijke uitvoeringswijze een pluspunt, zowel esthetisch als wat beheer en onderhoud betreft. Daarnaast kan bij een open infiltratievoorziening ook een gedeelte van het water via evapotranspiratie in de omgeving worden opgenomen.

Bij ondergrondse infiltratievoorzieningen is een voorfiltratie belangrijk bij een rechtstreekse toevoer in het ondergrondse buffervolume om de infiltratiewerking te blijven garanderen op lange termijn. Ook bij bovengrondse infiltratievoorzieningen kan een voorfiltratie zinvol zijn.

Indien men ondergronds buffering wil gebruiken, is het beter om de bovenliggende grondlaag als een filterlaag te gebruiken (en zo te evolueren naar een wadi), dan rechtstreeks ondergronds toe te voeren.

## B. Dimensionering

Voor (open) infiltratievoorzieningen is het ledigingsdebiet gelijk aan de geïntegreerde infiltratiecapaciteit over de oppervlakte van de infiltratievoorziening:

$$\text{ledigingsdebiet} = \frac{\text{infiltratiecapaciteit} \times \text{infiltratie - oppervlakte}}{\text{afvoerende oppervlakte} + \text{infiltratie - oppervlakte}}$$

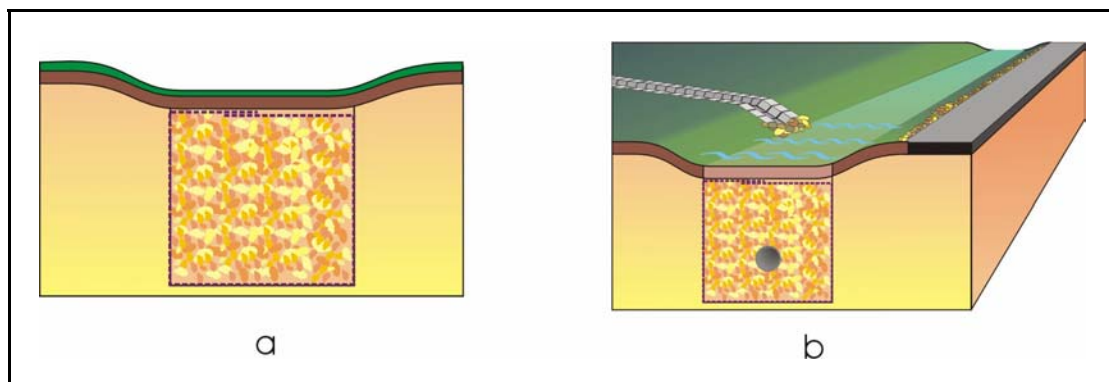
Aan de hand van dit ledigingsdebiet, de algemene bufferwaarden (tabel 5.2) en de gekozen terugkeerperiode voor de overloop van de infiltratievoorziening kan dan het te voorzien buffervolume bepaald worden. Hoe groter het beschikbare infiltratie-oppervlak, hoe groter het ledigingsdebiet zal zijn en dus ook hoe kleiner het te voorziene volume zal worden (zie tabel 5.2).

Wanneer de infiltratiecapaciteit functie is van de waterhoogte (bij diepe infiltratiebekkens), dan kan dit worden ingewerkt in de ledigingskarakteristiek. De ledigingskarakteristiek evolueert dan naar lineaire lediging in functie van het geborgen volume. Bij ondiepe infiltratievoorzieningen is dit van minder belang en mag het ledigingsdebiet constant verondersteld worden.

### 5.2.4. Infiltratievoorzieningen met verbetering van de ondergrond (eventueel met lokale drainage)

#### A. Algemeen

Dit type van infiltratievoorzieningen met een drainagekoffer en eventueel bijkomend een artificiële drainage, is zeer goed gekend in bijvoorbeeld Duitsland (dit is het Mulden-Rigolen systeem) en in Nederland (dit zijn wadi's = Arabisch woord voor vallei, welke eigenlijk droogvallende waterlopen zijn in de woestijn). Volgens deze benamingen zou een wadi per definitie een ondergrondse vertraagde transportfunctie (in de langsrichting) moeten hebben, maar in de praktijk wordt de benaming ook gebruikt voor lokale infiltratiekommen die verbeterd zijn met een ondergrondse drainagekoffer. In figuur 5.3 worden twee verschillende mogelijkheden weergegeven: één met drainagekoffer en zonder drain (a) en één met drainagekoffer en drain (b). Soms wordt het woord 'wadi' ook uitgelegd als een letterwoord voor waterafvoer door drainage en infiltratie.

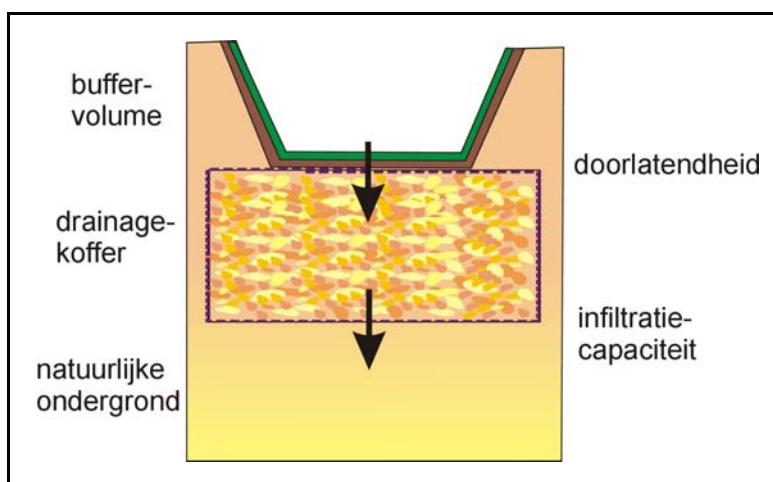


**Figuur 5.3** Wadi zonder drain (a) en met drain uitgevoerd als langgerekt alternatief afwateringssysteem (b) (Vaes *et al.*, 2000).

Indien men een infiltratievoorziening wenst te ontwerpen en men vermoedt dat de infiltratiecapaciteit van de ondergrond ontoereikend is of de invloed van de waterstand van belang kan zijn, dan kan men best een veilig ontwerp kiezen door van een gewone infiltratievoorziening over te stappen naar een wadi.

## B. Dimensionering

Een wadi kan bij benadering worden gedimensioneerd op basis van de algemene bufferwaarden (tabel 5.2) en dit in twee stappen. De eerste stap is de dimensionering van het bovengrondse buffervolume (figuur 5.4). Dit wordt berekend zoals een (gewone) infiltratievoorziening (zie § 5.2.3), maar dan met de doorlatendheid naar de drainagekoffer in plaats van met de infiltratiecapaciteit van de ondergrond. De tweede stap is de berekening van het bovengronds buffervolume en de drainagekoffer als een geheel bij dezelfde terugkeerperiode als gebruikt in de eerste stap en met een ledigingsdebiet op basis van de infiltratiecapaciteit van de natuurlijke ondergrond (eventueel inclusief de afvoer via een drainage). Het nodige buffervolume in de drainagekoffer kan dan worden bepaald uit het verschil van de twee berekende buffervolumes. Indien het berekende totale buffervolume te groot is, dient men een lagere terugkeerperiode voor de overloop van het bovengrondse buffervolume te hanteren of een drainageleiding te plaatsen. Indien het berekende bovengrondse buffervolume te groot is, dient men een lagere terugkeerperiode voor de overloop te hanteren of de doorlatendheid naar (van) de drainagekoffer te vergroten. Indien het berekende ondergrondse buffervolume te groot is, kan men een deel van deze buffering verplaatsen naar het bovengrondse volume, zonder dat de berekening moet worden herhaald.



**Figuur 5.4** Schematische voorstelling van een wadi (Vaes *et al.*, 2004b)

### 5.2.5. Grachten en andere lijnvormige elementen

Bij het ontwerp van grachten (of andere alternatieve afwateringssystemen zoals langgerekte wadi's of infiltratie-transportriolen die transport combineren met buffering) worden berging, infiltratie en afvoer gecombineerd. Deze combinatie maakt de toepassing van de algemene bufferwaarden (tabel 5.2) minder voor de hand liggend, omdat de transportfunctie ook moet worden geëvalueerd. Het is meestal niet haalbaar om continue lange-termijnsimulaties uit te voeren (zoals deze aan de basis liggen van de algemene bufferwaarden) voor een volledig netwerk van grachten, eventueel gekoppeld aan regenwaterriolen en waterlopen, omwille van de lange rekentijd. Daarom werd een vereenvoudigde aanpak in twee stappen uitgewerkt.

In de eerste stap wordt de vereiste berging berekend voor één gracht of grachtsegment, gebaseerd op de algemene bufferwaarden voor de lokaal aangekoppelde verharde oppervlakte.

De tweede stap is een berekening van de piekafvoercapaciteit. Bij hevige neerslag zullen de buffergrachten zich opvullen en beginnen af te voeren via de tussenschotten. De aanname van een terugkeerperiode van 2 jaar lijkt logisch voor het begin van de afvoer. Voor deze situatie moet een piekafvoer doorheen het netwerk van grachten worden gegarandeerd zonder overstroming bij de vereiste ontwerp-terugkeerperiode. De piekafvoer kan benaderd worden



met behulp van simulaties met ontwerpbuizen (startend van een lege gracht), maar dit zal meestal tot een overschatting van de piekafvoer leiden. Een betere aanpak wordt bekomen wanneer eerst het effect van de berging wordt ingerekend in gewijzigde ontwerpbuizen en deze gewijzigde ontwerpbuizen dan worden gesimuleerd startend van een gracht die op voorhand is opgevuld tot aan het niveau van de tussenschotten.

Bovenstaande ontwerpmethodologie is opgesteld om een enkelvoudig grachtsegment te beoordelen naar bufferend vermogen. Indien er echter een vertraagde afvoer van een opwaarts gelegen grachtsegment in het te dimensioneren grachtsegment terecht komt, dient het maximaal ledigingsdebiet van het te dimensioneren grachtsegment verhoogd te worden. Dit kan door eerst het nodige maximaal ledigingsdebiet te berekenen zonder rekening te houden met dit opwaarts doorvoerdebiet en daar het maximaal opwaarts doorvoerdebiet bij op te tellen. Het ledigingsdebiet van het te dimensioneren grachtsegment dient dan gelijk te zijn aan deze som.

### 5.3. Dimensionering hemelwaterputten

De drie belangrijkste parameters bij het ontwerp van een hemelwaterput zijn:

- de toevoerende verharde dakoppervlakte;
- het gebruiksdebiet aan hemelwater;
- het nuttige volume van de hemelwaterput.

De vraag kan gesteld worden in welke mate het gebruik van hemelwaterputten in huishoudens de waterbalans weer wat meer in evenwicht kan brengen. Om het bufferingseffect te maximaliseren, is het beschikbare bergingsvolume in de hemelwaterput de belangrijkste parameter. Toch stellen zich hier tegenstrijdige belangen. Enerzijds moet de hemelwaterput zo veel mogelijk vol zijn om optimaal te kunnen genieten van het regenwater met hergebruik in het huishouden. Anderzijds moet de regenwatertank zo veel mogelijk leeg zijn om een optimaal afvlakkingseffect te veroorzaken naar het rioelstelsel toe. De "Toelichting bij de Code van Goede Praktijk voor het Ontwerp van Rioleringsystemen" (Vaes *et al.*, 2004a) houdt het midden tussen beide eisen en schrijft voor dat:

- het volume van een hemelwaterput voor hergebruik minimaal 5000 l per 100 m<sup>2</sup> horizontale dakoppervlakte moet bedragen<sup>1</sup>;
- er een minimale aansluiting van 1 WC of 1 wasmachine nodig is.

Het bufferend effect neemt niet meer significant toe bij putvolumes vanaf 5 m<sup>3</sup>/100 m<sup>2</sup>. Een kleiner putvolume kan voor hergebruik volstaan, maar geeft een minder bufferend effect.

Het belangrijkste criterium om het ontwerp van een hemelwaterput te beoordelen is de totale tijd dat er geen water in de put beschikbaar is (ook wel de leegstandtijd genoemd). Een putvolume van meer dan 10 m<sup>3</sup> per 100 m<sup>2</sup> toevoerende verharde oppervlakte heeft weinig zin omdat bij putvolumes groter dan 10 m<sup>3</sup> per 100 m<sup>2</sup> toevoerende verharde oppervlakte de leegstandtijd nauwelijks nog afneemt (bij een gelijk gebruiksdebiet).

Om een idee te krijgen hoe dikwijls de hemelwaterput zal droogvallen en of het zinvol is om een grotere tank te installeren, kan de dimensioneringsmethode beschreven in Vaes *et al.* (2000) gevolgd worden. Bij die dimensioneringsmethode wordt er naast de toevoerende dakoppervlakte en het (werkelijke) gebruiksdebiet ook rekening gehouden met de toevoerende dakoppervlakte, de helling en de oriëntatie van het dak, het type dakbedekking en het verlies van debiet door de filter.

---

<sup>1</sup> De gewestelijke stedenbouwkundige verordening hemelwater (B.S., 2004) schrijft kleinere volumes voor. Zo volstaat voor een horizontale dakoppervlakte tot 100 m<sup>2</sup> een hemelwaterput van 3000 l of meer. Voor een horizontale dakoppervlakte tussen 100 en 150 m<sup>2</sup> volstaat een hemelwaterput van 5000 l of meer. Voor een horizontale dakoppervlakte tussen 150 en 200 m<sup>2</sup> volstaat een hemelwaterput van 7500 l of meer.

## 5.4. Dimensionering groendaken

De relatie tussen bergingsvolume en ledigingsdebiet bepaalt in grote mate de efficiëntie van het groendak. Deze relatie wordt ook sterk beïnvloed door de afwerking aan de randen. Tot op heden is er weinig kennis voorhanden om het verband te leggen tussen de fysische karakteristieken en de uitvoering van een groendak aan de ene kant en de afwateringskarakteristiek aan de andere kant, zodat een relatie met de dimensioneringseisen moeilijk te leggen is.

Een groendak heeft in principe eenzelfde bufferend vermogen als een hemelwaterput van 5000 l per 100 m<sup>2</sup> dakoppervlakte, indien er een bergingscapaciteit in het groendak ter grootte van 50 mm is voorzien. De bergingscapaciteit [mm] kan berekend worden als het in het groendak aanwezige poriënvolume [m<sup>3</sup>], gedeeld door de dakoppervlakte [m<sup>2</sup>], vermenigvuldigd met een factor 1000 [mm/m].

Nochtans zijn er aanwijzingen dat een groendak ook een bijkomend afvlakkend effect heeft op de piekneerslag. Dit zou betekenen dat er een reductie op deze bergingscapaciteit kan worden toegepast. In afwachting van betere gegevens lijkt een reductiefactor van 0,8 aanvaardbaar. Dit betekent dat een groendak slechts een bergingscapaciteit van 40 mm nodig heeft om een vergelijkbaar effect te hebben met een hemelwaterput. Indien deze bergingscapaciteit niet beschikbaar is, kan men voor het resterende deel een infiltratie- of buffervoorziening bouwen (resterende dakoppervlakte [m<sup>2</sup>] = (1 – bergingscapaciteit [mm] / 40 mm) \* dakoppervlakte [m<sup>2</sup>]). Indien men wel voldoende buffercapaciteit heeft kan men nog altijd de dakafvoer naar een infiltratie- of buffervoorziening leiden, omdat er toch nog een frequente afvoer (overloop) is. Men kan er ook voor kiezen om deze overloopgebeurtenissen zonder verdere buffering af te voeren.

## 5.5. Infiltratiecapaciteit

### 5.5.1. De infiltratiecapaciteit

De infiltratiecapaciteit van de ondergrond hangt nauw samen met het soort ondergrond. Tabel 5.4 geeft een grootteorde weer van de infiltratiecapaciteit van verschillende soorten ondergrond.

**Tabel 5.4 Ruwe inschatting van de infiltratiecapaciteit van verschillende grondsoorten.**

grondsoort	infiltratiecapaciteit
grof zand	500 mm/u (= $1,4 \cdot 10^{-4}$ m/s)
fijn zand	20 mm/u (= $5,6 \cdot 10^{-6}$ m/s)
leemachtig fijn zand	11 mm/u (= $3,1 \cdot 10^{-6}$ m/s)
lichte zavel	10 mm/u (= $2,8 \cdot 10^{-6}$ m/s)
löss	6 mm/u (= $1,7 \cdot 10^{-6}$ m/s)
veen	2,2 mm/u (= $6,1 \cdot 10^{-7}$ m/s)
leem	2,1 mm/u (= $5,8 \cdot 10^{-7}$ m/s)
lichte klei	1,5 mm/u (= $4,2 \cdot 10^{-7}$ m/s)
matig zware klei	0,5 mm/u (= $1,4 \cdot 10^{-7}$ m/s)
kleiige leem	0,4 mm/u (= $1,1 \cdot 10^{-7}$ m/s)

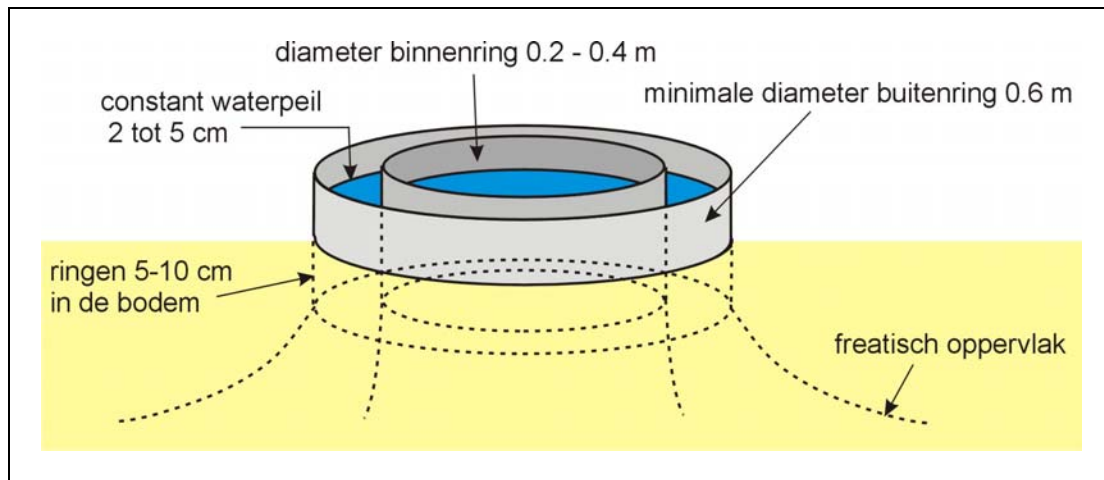
Bij de dimensionering van een infiltratievoorziening is het van belang de infiltratiecapaciteit zo correct mogelijk in te schatten. De waarden vermeld in tabel 5.4 geven slechts een ruwe inschatting van de infiltratiecapaciteit (waarbij de grondsoort gekend verondersteld wordt). Infiltratietesten (zie § 5.5.2) kunnen een hulpmiddel zijn om een correctere inschatting te maken van de infiltratiecapaciteit van de ondergrond. Hierbij moet vermeld worden dat het weinig zin heeft om de infiltratiecapaciteit te testen bij gronden die vanuit theoretisch standpunt een veel te kleine doorlaatbaarheid hebben (cf. tabel 5.4).

### 5.5.2. Meten van de infiltratiecapaciteit

Er bestaan verschillende methoden om de infiltratiecapaciteit van de (natuurlijke) ondergrond te meten. Een eenvoudige en vrij populaire methode is het meten van de infiltratie aan de hand van een ringinfiltratietest. Hierbij wordt een ring voorzichtig (om de bodem zo weinig mogelijk te verstoren) enkele centimeters de bodem ingeduwd, waarna de ring over een hoogte van enkele centimeters gevuld wordt met water en de infiltratiesnelheid wordt bepaald ofwel door het waterniveau binnen de ring constant te houden en te meten hoeveel water er dient bijgevoegd te worden, ofwel door te kijken hoe snel het water zakt in functie van de tijd. Na verloop van tijd zal de toegevoegde hoeveelheid water per tijdseenheid, of de snelheid waarmee het water in de bodem zakt, nagenoeg constant blijven. Is dit het geval (bijvoorbeeld wanneer drie achtereenvolgende metingen van de infiltratiesnelheid zo goed als gelijk zijn aan elkaar), dan is de infiltratiecapaciteit gevonden.

Een belangrijk nadeel van deze eenvoudige (enkelvoudige) ringmethode is dat de infiltratie onder de ring zich zal uitstrekken in drie dimensies. Bij een infiltratievoorziening daarentegen is de infiltratie hoofdzakelijk verticaal en treden er enkel aan de randen en de hoeken twee- of driedimensionele effecten op. Om die meer-dimensionele effecten in de mate van het mogelijke uit te schakelen en enkel de verticale infiltratie te meten, kan er rond de ring een tweede ring voorzien worden (zie figuur 5.5), die eveneens gevuld wordt met water. Men spreekt in dat geval van een dubbele-ringinfiltratietest. Het water infiltreert nu vanuit de buitenste ring in drie dimensies de bodem in, terwijl het water in de binnenste ring het proces

van verticale infiltratie beter benadert. Hoe groter de buitenste ring, hoe nauwkeuriger de bepaling van de verticale infiltratie vanuit de binnenste ring zal zijn.



**Figuur 5.5** Illustratie van de dubbele-ring infiltratietest (Maule, s.d.).

Een ander type infiltratietest is de bekkeninfiltratietest. Hierbij wordt er grond van buiten de locatie van de geplande infiltratievoorziening gebruikt (dit om de bodem zo weinig mogelijk te verstoren) om dijkjes te construeren die samen een bekken vormen van waaruit op dezelfde wijze als bij de ringinfiltratietest de infiltratiecapaciteit bepaald kan worden. Naargelang de grootte van het testbekken kunnen ook hier dubbele dijkjes gebruikt worden om de laterale infiltratie vanuit het binnenste bekken te beperken. Nadelen van deze methode zijn de verstoring van de locatie, het nodige grondverzet en de hoeveelheid water die voorzien dient te worden. Een voordeel van deze methode is dat door de grootte van het testoppervlak, de noodzaak vermindert om meerdere tests te doen, omdat de afhankelijkheid van lokale variaties in de bodemgesteldheid wordt opgevangen (Maule, s.d.).

Onderzoek heeft uitgewezen dat de dubbele-ringinfiltratietest gewoonlijk grotere infiltratiesnelheden oplevert dan de bekkeninfiltratietest. Zo kunnen infiltratiesnelheden gemeten aan de hand van de dubbele-ringinfiltratietest tot tien keer groter zijn dan de infiltratiesnelheden die bekomen werden met de bekkentest (Bedwany & Schumacher, 1979). Dit bevestigt de grootteorde van de veiligheidsfactor die reeds werd ingevoerd bij interpretatie van de infiltratietesten, zoals opgenomen in vroegere richtlijnen (VMM, 1999). De veiligheidsfactor in de vroegere richtlijnen houdt echter geen rekening met de geometrie van de test ten opzichte van de infiltratievoorziening.

Aangezien het de bedoeling is om bij een percolatietest de doorlatendheid te meten bij verzadiging van de ondergrond, dient (voorafgaand aan de test) de grond te worden verzadigd. Hiertoe kan de procedure worden behouden die reeds in de vorige versie van deze katern werd overgenomen van de Europese Norm in voorbereiding (C.E.N., 2000), met als aanvulling dat een buis moet worden gebruikt om de zijdelingse infiltratie uit de test te elimineren:

- Graaf een put tot op het niveau waarop (de bodem van) de infiltratievoorziening zal aangelegd worden.
- Plaats een buis in de put tot op de bodem, lichtjes ingedruwd zodat er geen zijdelingse uitstroming mogelijk is.
- Vul de put met water gedurende 4 tot 24 uren om de grond te verzadigen. Indien het water in minder dan 10 minuten verdwijnt, kan de test onmiddellijk worden uitgevoerd en moet men geen 4 tot 24 uren wachten.
- Na verzadiging wordt de put met water gevuld tot 15 à 30 cm boven de bodem van de put. Dit is het startpeil  $H_{\text{start}}$ .

- Bepaal nu de waterhoogte  $H_w$  na een tijd  $T$  gelijk aan 15, 30, 60, 120 en eventueel 240 minuten. Indien het water volledig verdwenen is binnen 30 minuten, herbegin de test en meet de tijd die nodig is om het waterniveau met 10 cm te laten dalen.
- De gemeten infiltratiesnelheid  $K_m$  is dan  $(H_{\text{start}} - H_w)/T$ .
- Op deze gemeten infiltratiesnelheid moet een veiligheidsfactor worden toegepast.

De hierboven beschreven testen zijn vrij eenvoudig, maar anderzijds ook vrij arbitrair. Zo is het moeilijk om manueel het waterpeil constant te houden, de meetlat (die in het midden van het testbekken staat) nauwkeurig af te lezen of nauwkeurig de exacte hoeveelheid water te bepalen die werd aangevuld binnen een bepaald tijdsbestek. Nauwkeuriger metingen kunnen gedaan worden door gebruik te maken van allerhande meettoestellen en/of -benodigdheden, bijvoorbeeld een dubbele-ringinfiltrometer met een Mariottebuis (Boivin *et al.*, 1998). Er zijn tal van infiltrometers commercieel beschikbaar. Angulo-Jaramillo *et al.* (2000) geven een overzicht van het gebruik van verschillende ring- en diskinfiltrometers.

Indien infiltratietesten met infiltrometers worden toegepast op aangelegde doorlatende verhardingen met een sterk doorlatende en bufferende onderbouw (drainagekoffer), meet men eigenlijk hoofdzakelijk de doorlatendheid van de toplaag en geeft dit geen indicatie over de doorlatendheid van het geheel.

### 5.5.3. Veiligheidsfactor en ontwerpfactor

Afhankelijk van de te voorziene infiltratie-oppervlakte is het noodzakelijk om meerdere infiltratietesten uit te voeren om rekening te houden met de ruimtelijke variabiliteit van de infiltratiecapaciteit (Boivin & Touma, 1998). Naast de ruimtelijke variabiliteit is er ook een tijdsafhankelijke variatie (bijvoorbeeld seizoensgebonden) van de infiltratiecapaciteit (Angulo-Jaramillo *et al.*, 2000; Livingston, 2000).

Daarnaast wordt de infiltratiecapaciteit ook beïnvloed door de grondwaterstand. Aangezien de extreme piekneerslag vooral voorkomt in de zomerperiodes en deze buffervoorzieningen worden ontworpen om zeer lokale neerslagafvoer te bufferen, lijkt het logisch om met de zomercondities voor de infiltratiecapaciteit te rekenen voor de dimensionering van een dergelijke buffervoorziening. Vaak zal er in de winter dan minder effectief kunnen worden geïnfiltreerd, omdat de grondwaterstand stijgt en de verdamping afneemt, maar de neerslagintensiteiten zullen dan ook lager zijn. De Europese Norm in voorbereiding (C.E.N., 2000) suggereert een minimale hoogte van 1 m onverzadigde zone of filtermateriaal boven het hoogste niveau van de grondwatertafel. Indien de grondwaterstand in de winter toch een probleem vormt, kan best een onderliggende drainage worden voorzien.

Om terdege rekening te kunnen houden met de ruimtelijke variabiliteit van de infiltratiecapaciteit is het daarom aan te raden de gemeten infiltratiecapaciteit te herschalen en zo enige veiligheid in te rekenen. Bovendien kan, om een juistere inschatting van de infiltratiecapaciteit van de infiltratievoorziening te bekomen, de infiltratietest best uitgevoerd worden op het niveau van het bodempeil van de geplande infiltratievoorziening.

Er is een Europese Norm in voorbereiding betreffende infiltratiesystemen (C.E.N., 2000), gegroeid vanuit de praktijk van infiltratie van gezuiverde effluënten, maar ook toepasbaar voor regenwaterinfiltratie. Deze Europese Norm in voorbereiding voorziet in een omzetting van gemeten infiltratiecapaciteiten naar te hanteren infiltratiecapaciteiten voor het ontwerp en dus ook in de invoering van een veiligheidsfactor en geeft hier ook een voorbeeld van. Uit de praktijk blijkt echter dat dit tot zeer grote veiligheidsfactoren leidt wat een aanvaardbaar ontwerp vaak onmogelijk maakt (bv. Oliviers, 2003). De reden hiervoor ligt bij de te sterk veralgemeende veiligheidsfactoren (eigenlijk bovengrenzen), onafhankelijk van de omstandigheden en waarschijnlijk ook bij het feit dat deze norm bedoeld is voor de infiltratie van behandeld afvalwater. De Europese Norm in voorbereiding geeft deze omrekeningswaarden ook enkel als

voorbeeld en er wordt expliciet bij vermeld dat een lokale regelgeving moet worden toegepast indien ze beschikbaar is.

Om deze redenen werd een alternatief systeem van veiligheidsfactoren uitgewerkt, zoals hierna wordt beschreven. Het is belangrijk te benadrukken dat deze veiligheidsfactoren enkel bruikbaar zijn om een veilige inschatting te maken van de doorlatendheid van de natuurlijke ondergrond en niet voor bijvoorbeeld aangelegde doorlatende verhardingen die een sterk niet-lineaire respons hebben omwille van de ondergrondse buffering.

De veiligheidsfactor  $M$  is een functie van de testoppervlakte, het aantal tests en de geplande oppervlakte van de infiltratievoorziening. De gemeten infiltratiecapaciteit dient dan gedeeld te worden door de berekende veiligheidsfactor  $M$  (in functie van  $\gamma =$  de verhouding infiltratieoppervlakte / (aantal tests  $\times$  testoppervlakte)).

$$M = 2 + 8 \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\gamma - 1}{30}\right) \right]$$

De veiligheidsfactor  $M$  houdt volgens bovenstaande berekening geen rekening met de heterogeniteit van de ondergrond. Of de bodem homogeen of heterogeen is, heeft geen invloed op de grootte van de veiligheidsfactor zoals deze hoger is gedefinieerd. Om de heterogeniteit van de bodem toch in rekening te brengen, dient de verhouding tussen infiltratieoppervlakte en het product van het aantal infiltratietests en de testoppervlakte (dit is de parameter  $\gamma$  in bovenstaande vergelijking) vervangen te worden door een nieuwe waarde  $\gamma^*$ , die gelijk is aan de oorspronkelijke waarde van  $\gamma$  (voor homogene grond), vermenigvuldigd met de verhouding tussen de maximaal gemeten infiltratiecapaciteit  $K_{m,max}$  en de gemiddelde gemeten infiltratiecapaciteit  $K_m$ . Door deze aanpassing krijgt, voor eenzelfde verhouding tussen de infiltratieoppervlakte en het totaal testoppervlak, een heterogene grond een hogere veiligheidsfactor toegewezen dan een homogene grond.

$$\gamma^* = \frac{\text{infiltratieoppervlakte}}{\text{aantal tests} \times \text{testoppervlakte}} \times \frac{K_{m,max}}{K_m}$$

Naast de veiligheidsfactor  $M$  kan ook nog een vormfactor  $F_V$  in rekening gebracht worden die een functie is van de lengte/breedteverhouding  $\mu$  van de infiltratievoorziening. De vormfactor wordt bepaald aan de hand van de verhouding tussen de omtrek van de infiltratievoorziening (als maat voor de laterale infiltratie) en de oppervlakte van de infiltratievoorziening (als maat voor de verticale infiltratie). Als referentie wordt een bekkeninfiltratietest met een vierkant testoppervlak gebruikt. De uitdrukking voor de vormfactor  $F_V$  is dan :

$$F_V = \frac{2\mu}{\mu + 1}$$

Wanneer de beoogde infiltratievoorziening een gracht is (dit is met een grote lengte-breedteverhouding  $\mu$ ), dan mag de met een infiltratietest met een vierkant testbekken (of een ringinfiltratietest) gevonden infiltratiecapaciteit met een factor 2 vermenigvuldigd worden om zo de grotere infiltratie door twee-dimensionale effecten in te rekenen.

Het toepassen van een veiligheidsfactor  $M$  en een vormfactor  $F_V$  op de gemeten infiltratiecapaciteit  $K_m$  levert dan een ontwerpfactor  $C (= M / F_V)$ , waarmee de infiltratievoorziening kan gedimensioneerd worden:

$$\text{infiltratiecapaciteit}_{\text{ontwerp}} = \frac{\text{infiltratiecapaciteit}_{\text{gemeten}}}{C}$$

waarbij de ontwerpfactor C voor een dubbele-ring- of een bekkeninfiltratietest met dubbele dijkjes gelijk is aan:

$$C = \left( 1 + 4 \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\gamma^* - 1}{30}\right) \right] \right) \times \frac{\mu + 1}{\mu}$$

### Voorbeeld

Een beschikbaar, rechthoekig infiltratieoppervlak van 9 bij 6 meter (= 54 m<sup>2</sup>) wordt opgedeeld in 12 deeloppervlakken. In elk deeloppervlak wordt aan de hand van een dubbele-ring-infiltratietest (testoppervlakte 0,25 m<sup>2</sup>) de infiltratiecapaciteit bepaald. Dit geeft een  $\gamma$ -waarde van 18, wat neerkomt op een veiligheidsfactor M van 5,46. De meetresultaten zijn respectievelijk 12,2 - 14,6 - 13,5 - 9,6 - 9,5 - 6,8 - 9,9 - 11,2 - 9,7 - 9,9 - 12,4 - 13,0 mm/u.

De metingen leveren een gemiddelde waarde van 11 mm/u op. De maximaal gemeten infiltratiesnelheid bedraagt 14,6 mm/u. Om rekening te houden met de heterogeniteit van de ondergrond wordt de oorspronkelijke waarde van  $\gamma$  vermenigvuldigd met 1,33 (=14,6/11). Dit geeft een nieuwe waarde voor  $\gamma^*$  van 23,9 en een veiligheidsfactor M van 6,27.

De lengte-breedteverhouding  $\mu$  van het beschikbare infiltratieoppervlak is 3/2. Dit geeft een vormfactor  $F_V$  van 1,2. De ontwerpfactor C is dan gelijk aan 5,22 (= M/ $F_V$ ), waardoor de ontwerp-infiltratiecapaciteit 2,1 mm/u (= 11 / 5,22) bedraagt.



## 5.6. Debietbeperkers

Een buffervoorziening is pas nuttig als het water effectief gebufferd wordt. Deze buffering kan gerealiseerd worden door het gebruik van debietbeperkers. Debietbeperkers laten een relatief klein debiet door (ten opzichte van het toekomstig debiet), waardoor het water ter plekke wordt opgehouden en het buffervolume (opwaarts van de debietbeperker) wordt benut. Door het beperkte doorvoerdebiet zorgen debietbeperkers er daarnaast voor dat het water vertraagd wordt afgevoerd.

Debietbeperkers vormen een cruciaal element in het buffer- en infiltratiesysteem omdat zij de afvoer van het water garanderen. Regelmatige inspectie en onderhoud zijn dan ook noodzakelijk om de goede werking van de debietbeperkers te blijven garanderen en zo wateroverlast te vermijden.

### 5.6.1. *Knijpleiding*

Een knijpleiding is een leiding met relatief kleine diameter, waardoor het doorgevoerde debiet beperkt wordt en het water opwaarts geborgen wordt. De factoren die het uiteindelijke doorvoerdebiet bepalen zijn de diameter en de lengte van de knijpleiding en het optredende waterpeil (op- en afwaarts van de knijpleiding).

Als voordelen van de knijpleiding kunnen aangehaald worden:

- eenvoudig principe;
- goedkoop.

Er zijn echter ook nadelen aan verbonden:

- bij een kleine diameter kan de knijpleiding verstopten; onderhoud (lieft preventief) is dan ook noodzakelijk;
- om het risico op verstoppingen te doen dalen, kan de diameter van de knijpleiding vergroot worden; dit houdt wel in dat het doorvoerdebiet stijgt, waardoor een knijpleiding als debietbeperker slechts vlot toepasbaar is voor grotere verharde oppervlakken.

Een vergelijkbaar effect kan worden bekomen met een schuif of een opening.

### 5.6.2. *Wervelventiel*

Een wervelventiel is een gepatenteerde inox constructie die zodanig geconstrueerd is dat het water bij het doorstromen ervan gaat wervelen. Door de werveling ondervindt het doorstromende water een weerstand die ervoor zorgt dat het doorstromende debiet sterk beperkt wordt. Uiteraard is het doorstromende debiet afhankelijk enerzijds van het verschil in waterhoogte opwaarts versus afwaarts en anderzijds van het type wervelventiel.

De kleinste wervelventielen hebben een nominale doorvoer van 7 l/s, zodat het ook voor kleinere oppervlakken geschikt is. Sommigen beweren echter dat zulke kleine wervelventielen te gevoelig zijn voor verstopping en dat het kleinste wervelventiel dat geen verstoppingsrisico in zich draagt ongeveer 55 l/s afvoert.

Voordelen:

- minder gevaar tot verstopping in vergelijking met de knijpleiding; een eventuele verstopping is makkelijker op te lossen;
- eenvoudig in constructie (eenvoudig in te bouwen in een inspectieput);
- bedrijfszeker;
- het doorvoerdebiet is minder afhankelijk van de netto waterhoogte voor en na het ventiel.

Nadelen:

- vrij duur in aankoop;

Het wervelventiel is hoe dan ook een apparaat dat de afgelopen jaren opgang maakte in Vlaanderen.

### 5.6.3. *Pompen*

Pompen bestaan in alle geuren en kleuren en vormen een voldoende bekende schakel in de rioleringswereld. Hierbij kan nog aangehaald worden dat op de markt ook vrij gunstig geprijsde prefab pompputten verkrijgbaar zijn waarvan bij wijze van spreken de stekker slechts in het stopcontact dient te worden gestoken en waarmee ook kleine debieten (vanaf 3,5 l/s) verpompt kunnen worden. Deze vormen zeker een mogelijke oplossing voor de kleine verharde oppervlakken, waarvoor hoger vermelde oplossingen in gebreke blijven.

Voordelen:

- de variatie aan mogelijke pompdebieten is zeer breed;
- de diepteligging van de opwaartse leiding wordt niet opgelegd door de bodempeilen van de waterloop (zeker in vlakke gebieden en kleine waterlopen van grote waarde);
- zelfs bij hoge waterstanden in de waterloop kan de buffervoorziening volledig leeggepompt worden.

Nadelen:

- pompstations vragen energie, wat een constante kost vormt en waarvoor de nodige voorzieningen moet getroffen worden;
- vragen regelmatig onderhoud (ook preventief);
- rendement bij kleinere debieten is laag;
- defecten zijn mogelijk;
- er is mogelijk geluidshinder.

Algemeen kan gesteld worden dat door de Vlaamse rioolbeheerders pompstations liever vermeden worden, als dat enigszins mogelijk is.

### 5.6.4. *Drainagekoffer*

Ook een drainagekoffer kan als debietbeperkende maatregel gebruikt worden.



## **Referentie- en literatuurlijst**

Bedwany A.L. en Schumacher A.E.S. (1979). *A comparative study of two methods of infiltration rate measurements in some soils in Lesotho*. Montreal Engineering Company Limited, Calgary, Alberta, Canada.

Boivin P. & Touma J. (1998). Variabilité spatiale de l'infiltrabilité d'un sol mesurée par la méthode du double anneau. *Cah. ORSTROM, sér. Pédol.*, volume 24, nr. 3.

Boivin P., Touma J. & Zanté P. (1998). Mesure de l'infiltrabilité du sol par la méthode du double anneau; 1. Résultats expérimentaux. *Cah. ORSTROM, sér. Pédol.*, volume 24, nr. 1.

B.S. (1985). Besluit van de Vlaamse regering van 27 maart 1985 houdende reglementering van de handelingen binnen waterwingebieden en beschermingszones. *Belgisch Staatsblad*, Brussel, 20 juli 1985.

B.S. (2004). Besluit van de Vlaamse regering van 1 oktober 2004 houdende vaststelling van een gewestelijke stedenbouwkundige verordening inzake hemelwaterputten, infiltratievoorzieningen, buffervoorzieningen en gescheiden lozing van afvalwater en hemelwater. *Belgisch Staatsblad*, Brussel, 8 november 2004.

C.E.N. (2000). *Infiltration Systems*. Europese norm in voorbereiding, TC 165 WG 41 TG 4 N 55, Comité Européen de Normalisation, Marne-La-Vallée, Frankrijk.

FEBESTRAL (s.d.). Waterdoorlatende verhardingen. FEBESTRAL, Brussel, België.  
<http://www.febe-febestral.be>

Livingston E.H. (2000). Lessons Learned About Successfully Using Infiltration Practices. *National Conference on Tools for Urban Water Resource Management and Protection*, Chicago, Verenigde Staten.

Maule C. (s.d.). *Infiltration*. Lecture notes, Department of Agricultural & Bioresource Engineering, University of Saskatchewan, Canada.

Mentens Jeroen, Hermy Martin en Raes Dirk (red.) (2002). *Extensieve groendaken*. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Bos & Groen, Brussel, België.  
<http://www.waterloketvlaanderen.be/uploads/groendaken.pdf>

Vaes Guido (1999). *The Influence of Rainfall and Model Simplification on the Design of Combined Sewer Systems*. Doctoraatsthesis, Laboratorium voor Hydraulica, K.U.Leuven, Leuven, België.

Vaes Guido en Berlamont Jean (2004). Het ontwerp van bronmaatregelen gebaseerd op continue lange-termijn-simulaties. *Tijdschrift Water*, nr. 13, januari-februari 2004, WATER vzw, Boechout en Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid (CIW), Brussel, België.  
[http://www.viwc.be/water/nb13/ts2004\\_13\\_source2.pdf](http://www.viwc.be/water/nb13/ts2004_13_source2.pdf)

Vaes Guido, Creffier Willem en Berlamont Jean (red.) (2000). *Waterwegwijzer voor architecten. Een handleiding voor duurzaam watergebruik in en om de particuliere woning*. Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), Erembodegem, België.  
<http://www.waterloketvlaanderen.be/uploads/VMMArchitect.pdf>

Vaes Guido, Bouteligier Raf, Luyckx Gert, Willems Patrick en Berlamont Jean (2004a). *Toelichting bij de Code van Goede Praktijk voor het ontwerp van rioleringsystemen*. Laboratorium voor Hydraulica, K.U.Leuven, Leuven, april 2004. Studie in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Water, Brussel, België.

[http://www.mina.be/code\\_goede\\_praktijk.html](http://www.mina.be/code_goede_praktijk.html).

Vaes Guido, Bouteligier Raf en Berlamont Jean (2004b). Het ontwerp van infiltratievoorzieningen. *Tijdschrift Water*, nr. 13, januari-februari 2004, WATER vzw, Boechout en Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid (CIW), Brussel, België.

[http://www.viwc.be/water/nb13/ts2004\\_13\\_infiltratie2.pdf](http://www.viwc.be/water/nb13/ts2004_13_infiltratie2.pdf)

van Dooren Noël en Hermans Rob (2003). *Ontwerpen met regenwater*. Stichting RIONED, Ede, Nederland, september 2003.

<http://www.riool.net/>

VMM (1996). *Krachtlijnen voor een geïntegreerd rioleringsbeleid in Vlaanderen: Code van Goede Praktijk voor de aanleg van openbare riolen en individuele voorbehandelingsinstallaties*. Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), Erembodegem, België.

VMM (1999). *Krachtlijnen voor een geïntegreerd rioleringsbeleid in Vlaanderen: Code van Goede Praktijk voor Hemelwaterputten en Infiltratievoorzieningen*. Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), Erembodegem, België.

Wentink R., Boogaard F.C., Bruins G. en Bode P. (2003). *Wadi's doorgelicht*. Stichting RIONED, Ede, Nederland.

<http://www.riool.net/>