

Richtlijnen voor het ontwerp, aanleg en beheer van wadi's

(Aanzet voor ontwerprichtlijnen voor bovengrondse infiltratievoorzieningen om het kwalitatief en kwantitatief functioneren ervan te waarborgen)

Ir. Floris Boogaard (Tauw bv)
Ing. Ronald Wentink (Tauw bv)
e-mail: fcb@tauw.nl
rwe@tauw.nl

Trefwoorden: wadi-systeem, infiltratie, geotextielen, kwaliteit regenwater, zuiveringsrendementen, richtlijnen voor aanleg, beheer en ontwerp

Eind vorige eeuw is in Nederland het afkoppelen en infiltreren van regenwater grootschalig begonnen. Het betrof een voorzichtige start, aangezien nog niet veel bekend was over het hydraulisch en milieutechnisch functioneren van de infiltratievoorzieningen.

Voor de introductie van infiltratie in het stedelijk gebied was al enige kennis uit het buitenland beschikbaar, bijvoorbeeld van het Mulden-Rigolen systeem in Duitsland [Sieker 1999]. Dit systeem werd in 1993 overgenomen in Enschede onder de naam wadi, waar de onzekerheden over het functioneren werden ondervangen door metingen aan en observatie van dit bovengrondse infiltratiesysteem.

In de jaren erna zijn veel afkoppelprojecten gestart en zijn ervaringen opgedaan met het ontwerp, de aanleg en het beheer van de voorzieningen. Medio 2005 is het tijd om deze ervaringen om te zetten in richtlijnen voor het ontwerp, aanleg en beheer van de infiltratievoorzieningen, om het kwantitatief en kwalitatief functioneren van de voorzieningen te waarborgen.

In dit artikel worden enkele richtlijnen en hun achtergrond weergegeven. Hiervoor is ondermeer gebruik gemaakt van meetresultaten van infiltratievoorzieningen in Nederland. Uiteindelijk worden de richtlijnen in de conclusies op een rij gezet. Daarbij wordt opgemerkt dat het ontwerp, de aanleg en het beheer van infiltratievoorzieningen maatwerk blijft, de richtlijnen zijn dan ook een hulpmiddel en geen eisen of garanties voor het gewenst functioneren van de voorziening. Daarom worden de richtlijnen in dit artikel toegelicht, zodat gemotiveerd kan worden afgeweken van deze richtlijnen.

Sommige richtlijnen zijn voortgekomen uit ervaringen op enkele locaties die niet representatief zijn voor alle situaties in Nederland. Ook is de kennis op sommige vlakken te summier, zodat onderzoek en het meten aan voorzieningen gewenst blijft. Met nieuwe kennis dienen de richtlijnen periodiek te worden bijgesteld. Dit artikel wordt afgesloten met een overzicht van de richtlijnen en praktische

aanbevelingen voor het ontwerp, de aanleg en beheer van bovengrondse infiltratievoorzieningen.

Inleiding

Infiltratie van afstromend regenwater is één van de methoden om regenwater van het rioolstelsel af te koppelen of niet aan te sluiten. Infiltratie houdt water vast en/of vertraagt de afvoer van water en heeft daarmee in het algemeen positieve effecten op het beperken van de verdroging, vermindert het aantal riooloverstortingen en bewerkstelligt hogere zuiveringsrendementen van het afvalwater. Ondanks dat het principe in natuurlijke vorm al eeuwen wordt toegepast en in het buitenland enige ervaring was opgedaan in het stedelijk gebied, bracht de concrete invulling ervan in Nederland (eind vorige eeuw) grote vraagtekens met zich mee.

'Welke verontreinigingen bevat het afstromende regenwater? Hoe functioneren de voorzieningen op lange termijn? Wat vindt de burger hiervan en

hoe gaat deze er mee om?' Om een antwoord op deze vragen te vinden, werden de eerste systemen onderworpen aan meetprogramma's, waarin het kwantitatieve, kwalitatieve en sociaal functioneren van de infiltratievoorzieningen werd vastgelegd.

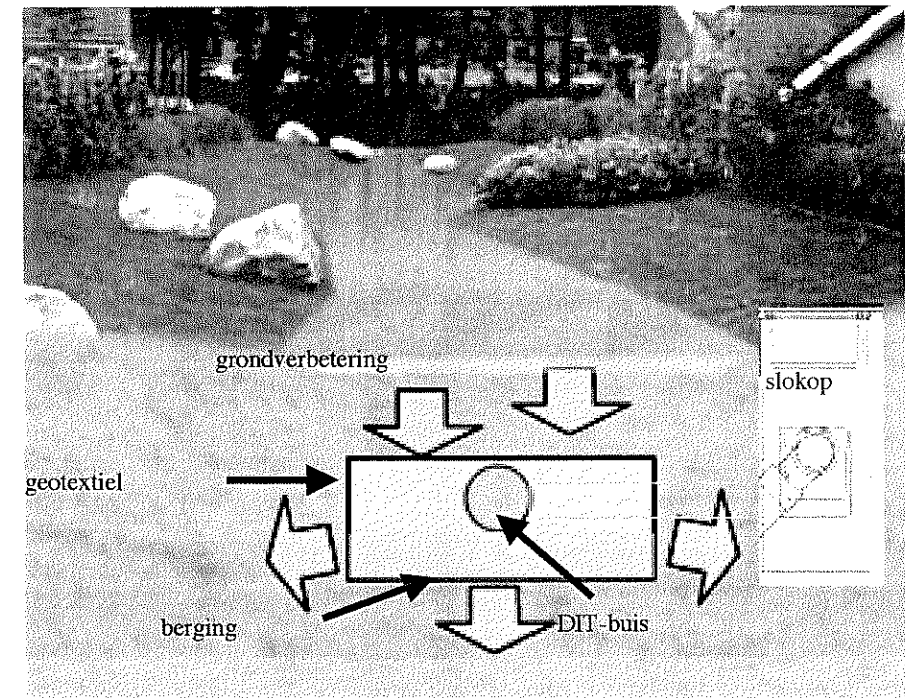
De richtlijnen zijn voor een groot deel n.a.v. de resultaten van monitoring van ondergrondse en bovengrondse infiltratievoorzieningen tot stand gekomen. De monitoringsprogramma's beoordelen in grote lijnen het hydraulisch, milieuhygiënisch evenals het sociaal functioneren van de voorzieningen. Ook is gebruik gemaakt van richtlijnen voor infiltratie, zoals die in onze buurlanden worden toegepast en recent gedocumenteerd door de DWA 'Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall' (voorheen ATV-DVWK-Regelwerk) en Vliaro (katem 'Afkoppelen bufferen en infiltreren', 2005).

In de volgende paragrafen worden de richtlijnen toegelicht.

Opbouw infiltratievoorziening

Globaal kunnen infiltratievoorzieningen onderverdeeld worden in bovengrondse en ondergrondse voorzieningen. Bij ondergrondse voorzieningen (of percolatievoorzieningen) wordt het water in gesloten buizen onder het maaiveld naar waterbuffers geleid, waaruit het water naar de omringende grond en het grondwater kan infiltreren. De waterbuffers bestaan uit een prefab, vormvaste constructie waarbinnen een (vrijwel) holle ruimte aanwezig is. Of ze bestaan uit een ter plaatse gemaakte constructie bestaande uit geotextiel waarbinnen kleinere elementen aanwezig zijn. De draagkracht bij deze tweede categorie wordt ontleend aan het materiaal binnen het geotextiel.

Voorbeelden van de ter plaatse gemaakte constructies zijn ondermeer grind- en lavakoffers en geëxpandeerde kleikorrels. Bij de zelfdragende constructies moet gedacht worden aan infiltratiebuizen, boxen, schaaldelen et cetera. Bij de bovengrondse infiltratievoorziening wordt het regenwa-



Figuur 1: Opbouw wadi

ter over het straatoppervlak geleid, door middel van gootjes, naar een open berging waar het water infiltreert. Deze methode heeft, indien de ruimte beschikbaar is, vaak de voorkeur vanwege kosten, uitsluiting van foutieve aansluitingen en bereikbaarheid van de voorziening.

De richtlijnen in dit artikel zijn met name van toepassing bij bovengrondse voorzieningen. Deze zullen verder worden aangeduid met 'wadi', hoewel de richtlijnen ook gelden voor ondermeer greppels, buffers of infiltratievelden.

Opbouw en werking van een wadi-systeem

Voordat wordt ingegaan op de richtlijnen, is het goed om eerst een beschrijving te geven van wat een wadi is en hoe dit systeem werkt. Uitgegaan is van een systeem zoals die vaak wordt aangetroffen in nieuwbouwwijken. Bij toepassing van wadi's wordt regenwater vanaf daken via goten naar de woonstraat geleid. Daar voegt het zich bij het regenwater dat op de straat zelf valt. De woonstraten hebben geen kolken. Via de goot, die zich in het midden of aan de zijkant van de weg bevindt, stroomt het regenwater naar de wadi. Het water blijft de gehele route zichtbaar, zodat de bewoners van de wijk de loop van het regenwater kunnen volgen.

Van de wadi is in de bovenste laag een grondverbetering toegepast. De grond is zo bewerkt dat water goed in de bodem kan zakken. Onder de grondverbetering kan een sleuf zijn aangebracht die bestaat uit een aggregaat (bijvoorbeeld kleikorrels, lavasteen of grind) dat is ingepakt in een zanddicht doek. Het water kan in de holle ruimten van het aggregaat geborgen worden. Het zanddichte doek voorkomt dat er grond in de wadi spoelt en laat het water door. Naast en onder de sleuf bevindt zich de oorspronkelijke grond.

Door het aggregaat loopt een buis, in de lengterichting van de wadi. Deze buis zorgt ervoor dat die delen waar de ondergrond minder goed doordlatend is in verbinding staan met beter doorlatende grond van waaruit het water makkelijker naar de omringende grond kan infiltreren. Hiermee vervult de drainbuis zowel een infiltrerende, transporterende (afvoer) en drainerende functie (bij hoge grondwaterstanden). Vergelijkbaar met de term 'wadi' (water-afvoer, drainage en infiltratie).

Deze buis wordt, gezien de diverse functies die het vervuld, in dit artikel verder aangeduid als DIT-buis (Drainage, Infiltratie en Transport). Als het regenwater in de wadi stroomt, verspreidt het zich over de bodem. Er kunnen zich drie scenario's voordoen:

1. Als er een geringe hoeveelheid neerslag valt, zakt het regenwater langzaam de bodem in. Na enkele uren is de wadi weer droog.
2. Valt er meer neerslag en vult de wadi zich tot een diepte van ongeveer 25 tot 30 centimeter, dan treden de zogenaamde 'slok-ops' in werking. Slok-ops zijn speciale kolken die voor een snelle verbinding zorgen met de DIT-buis in de sleuf met aggregaat. Via deze overlopen verdwijnt een deel van het regenwater naar de sleuf, waar het geborgen kan worden en van waaruit het kan infiltreren in de bodem.
3. Bij zeer extreme neerslag, waarbij de wadi gevuld raakt en ook de aanvullende berging in de sleuf volledig is benut, stroomt het water naar een volgende wadi of komt het terecht in oppervlaktewater.

Het hierboven beschreven wadisysteem dient in de winterperiode ook voor het beteugelen van hoge grondwaterstanden. Komen de grondwaterstanden ter hoogte van de sleuf met aggregaat, dan treedt de DIT-buis als ontwateringsmiddel in werking. Via de DIT-buis wordt het verzamelde grondwater afgevoerd naar het oppervlaktewater. De wadi werkt in de winterperiode dus voornamelijk als een riooldrain: het zorgt zowel voor verlaging van de grondwaterstanden als voor het transport van (geïnfiltreerd) regenwater.

Door al deze maatregelen kan ervoor worden gezorgd dat de woonwijk niet sneller water afvoert dan een landelijk gebied. De wadi zorgt dus voor een rustig verlopend afvoerpatroon. De wadi's als voorgaand beschreven blijken in de praktijk gemiddeld gedurende tachtig tot negentig procent in een jaar droog te staan. Dit leidt er toe dat er geen modderige situaties ontstaan, dat muggenplagen e.d. geen kans krijgen en dat organismen de tijd krijgen om de bodem open te houden.

Bovengrondse afvoer van regenwater

Het zichtbaar, bovengronds afvoeren van regenwater heeft om een aantal redenen de voorkeur

boven het ondergronds afvoeren. Bij afvoer van regenwater via de riolering wordt het regenwater onmiddellijk vanaf het dak of vanaf de straat in een ondergrondse rioolbuis gebracht. Door dit hoogteverlies is het lastig om regenwater van de rioolbuis in een wadi te krijgen. Omdat de gemiddelde wadi ongeveer 40 centimeter diep is, zou bij ondergrondse afvoer het regenwater moeten worden opgepompt of het moet opwellen. De voorkeur gaat echter uit naar oppervlakkige afvoer richting de wadi.

Een tweede reden betreft de waterkwaliteit. In Nederland liggen vele gescheiden rioolstelsels. Daarbij wordt regenwater volledig gescheiden behandeld van het huishoudelijk afvalwater. Het komt vrij vaak voor dat leidingen met huishoudelijk afvalwater 'verkeerd' worden aangesloten op een regenwaterriool. Het afvalwater komt dan onbehandeld terecht op het oppervlaktewater. Door regenwater boven het maaiveld af te voeren, zijn foutieve aansluitingen beter controleerbaar. Als laatste reden, en dat is zeker niet de minst belangrijke, geldt de vergroting van de betrokkenheid van bewoners bij de stedelijke waterhuishouding. Doordat bewoners zien wat er gebeurt, zul-

len ze bijvoorbeeld minder gauw geneigd zijn oneigenlijke stoffen of afval in de afvoer te deponeren. Zitten er nadelen aan het bovengronds afvoeren van regenwater? Zeker wel. In de tuinen moeten bij oppervlakkige afvoer van regenwater gootjes worden aangebracht om het water naar de perceelsgrens te krijgen. Deze gootjes kunnen een barrière vormen of als zodanig worden ervaren, bij de inrichting van de tuin. Bovendien moet ook voldoende afschot in de tuin aanwezig zijn om het water goed te kunnen afvoeren.

Een bijzondere omstandigheid is als de woning geen voortuin heeft, maar (vrijwel) direct aan het trottoir grenst. Gaat onder dergelijke omstandigheden in een winterperiode het sneeuw op het dak smelten, dan komt het smeltwater via de dakafvoer op de koude tegels en bevriest. Als er geen goot(je) is aangebracht om het water te geleiden, dan leidt dit tot een waaier van ijs op het trottoir. Behalve tot klachten leidt dit ook tot het (ruim) strooien met keukenzout door bewoners om toch maar zo snel mogelijk van de gladheid verlost te zijn. Anderzijds is een aangebracht gootje in het trottoir soms weer een barrière voor mensen die slecht ter been zijn, evenals voor buggy's en kinderwagens.

Uit de praktijk blijkt dat een ondiepe goot in het trottoir, maximaal 0,5 cm diep bij een gootbreedte van ongeveer 30 cm, niet als barrière wordt ervaren en toch afdoende is om onder winterse omstandigheden de afvoer te waarborgen en uitgebreide gladheid te voorkomen. Er is dan nog wel sprake van gladheid, maar dit beperkt zich tot de breedte van (een deel van) de goot.

Richtlijnen: Dimensies

Diepte wadi

De werking van de wadi berust in eerste instantie op het zonder hulpmiddelen infiltreren van het afstromende regenwater in de ondergrond. Omdat de regenintensiteit vaak de infiltratiecapaciteit van de bodem overtreft, is het noodzakelijk dat het regenwater wordt geborgen. De maximaal te bergen hoeveelheid regenwater in een gebied is afhankelijk van een aantal factoren.

De hoeveelheid beschikbare ruimte om de wadi's aan te leggen is vaak beperkt. In bestaand stedelijk gebied is deze ruimte vaak niet aanwezig en in

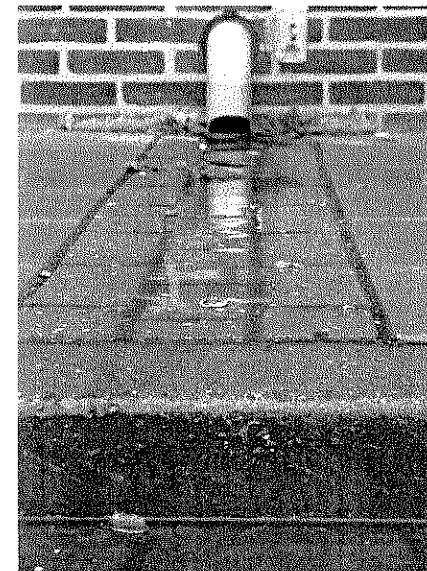


Foto 1: Afvoer over trottoir zonder goot

nieuwbouwgebieden is elke vierkante meter kostbaar. Dit kan er toe leiden dat compensatie in de diepte wordt gezocht. De waterlaag in een wadi is echter aan grenzen gebonden. Een diepe wadi leidt, bij volledige vulling, tot ondermeer langere ledigingstijden en kleinere beschikbare berging bij volgende buien.

Uit diverse metingen in wadi's blijkt dat de bodem-doorlatendheid, hoe groot die ook bij aanleg is, kan afnemen tot circa 0,3 m/dag. Bij een waterdiepte van maximaal 0,3 m in de wadi is deze in de meeste gevallen binnen een dag weer leeg. Bij sommige ontwerpen wordt een leeglooptijd van 48 uur gehanteerd (Leidraad riolering), maar gezien de infiltratiecapaciteit door diverse in dit artikel genoemde factoren kan afnemen, is de eis dat de berging binnen een dag leeg dient te zijn een veiligere ontwerp.

Ook de Duitse richtlijnen houden een leeglooptijd van 24 uur in infiltratievoorzieningen aan [DWA, 2005]. Dit geeft voldoende buffercapaciteit om volgende buien weer op te vangen. Op deze manier kan ongeveer 85 procent van het afstromende regenwater, dat gemiddeld in een jaar valt, in de bodem worden geïnfiltreerd. Dit betekent dus dat de begrenzing van de waterspiegel op ongeveer 0,30 m boven de bodem moet liggen. Dit wordt geregeld door het aanbrengen van een overloop, ook wel slok-op genoemd. Veelal is dit een trottoir- of straatkolk die in het talud van de wadi is aangebracht.

Bij de keuze voor het type kolk en de plaats, dient afstemming plaats te vinden met de beheerder van het groen, omdat bij het maaien van het talud de

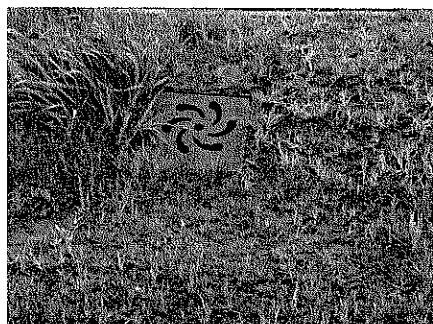


Foto 2: Slokop in talud

slok-op een barrière kan vormen, zowel wat vorm als plaats betreft. In de praktijk blijkt dat deze slok-op minstens eenmaal per jaar geleegd moet worden om slib, bladeren, zwerfvuil et cetera te verwijderen. Daarom verdient het voorkeur om deze slok-op's op een goed bereikbare plaats aan te brengen.

Onder de wadi wordt vaak een infiltratieleiding aangebracht, maar dit is niet altijd noodzakelijk. Zoals eerder vermeld, is de functie van deze leiding meerledig. Als eerste kan deze dienen om het water vanuit de slok-op af te voeren naar bijvoorbeeld oppervlaktewater. Een tweede functie is om het water vanuit de slok-op te verdelen over extra ondergrondse infiltratievoorzieningen, om zo het bergend vermogen in het gebied te vergroten.

De derde functie is om het water, dat via de wadi-bodem infiltreert, op te vangen en af te voeren naar het oppervlaktewater. Dit zal voornamelijk toegepast worden in situaties waarbij de ondergrond slecht doorlatend is of zeer lokaal slecht doorlatende plekken bevat. De vierde functie van de infiltratieleiding is om echt als drainage te functioneren indien in de winterperiode de grondwaterstanden in het gebied flink kunnen stijgen.

Een afweging of de infiltratieleiding wel nodig is en wat zijn functie in het systeem is, is dus zeker op zijn plaats. Vervolgens zal dan bekeken moeten worden hoe diep deze infiltratieleiding komt te liggen om zijn functie te kunnen vervullen. Daarbij speelt ook de mogelijke bovenbelasting, zoals een grasmaaier, alsmede het onderhoud, bijvoorbeeld het vervangen/reparkeren van de grasmat, een rol.

Talud

Het talud van de wadi is in belangrijke mate bepalend voor de beleving van de wadi. Een steil talud benadrukt de diepte en laat het op een greppel lijken. Een flauwer talud geeft een wat glooiender beeld, maar kost ook veel meer ruimte. Daarnaast is ook uit onderhoudsoogpunt het talud van belang. Afhankelijk van de afmetingen van de wadi zal deze vanuit de bodem of vanaf de bovenzijde gemaaid moeten worden. Dit stelt eisen aan het maaimateriaal of, en dat blijkt vaak in de praktijk, de afmetingen van de wadi worden aangepast aan het aanwezige maaimateriaal.

De ervaring leert dat het maaien vanuit de wadi,

zeker bij natte omstandigheden, de kans op het dichtrijden van de bodem vergroot. Dit is op te lossen door gebruik te maken van luchtkussenmaaiers, maar dat is lang niet in alle gevallen haalbaar. Maaien bij droge omstandigheden of maaien vanaf de bovenzijde, eventueel vanaf het talud als daar voldoende ruimte is, heeft dan de voorkeur.

De hiervoor genoemde ledigingstijd en beperking van de diepte van de wadi is tevens van belang voor de veiligheid. Een vaak gehoorde opmerking bij bewoners die geconfronteerd worden met de aanleg van een wadi, is dat zij bang zijn dat spelende kinderen in wadi's verdrinken. Een feit is dat kinderen worden aangetrokken door water en dat geldt ook voor de wadi. Om het risico op ernstige ongevallen te verkleinen zal de wadi niet te diep moeten zijn en zal de vormgeving er toe moeten bijdragen dat kinderen, als ze in het water raken, er snel weer uit kunnen komen. In het kader van veiligheid dient daarom het talud vrij flauw zijn.

Bovendien moet de gehele wadi goed zichtbaar zijn, zodat omwonenden en/of passanten direct kunnen ingrijpen als er iets mis dreigt te gaan. Dit pleit ook voor een lage vegetatie in en rondom de wadi. De risicogroep is met name kinderen jonger dan vier jaar, de 'actieradius' van deze groep ligt in de orde van 150 meter (water binnen een straal van 150 meter van woonhuizen is door deze groep zelfstandig bereikbaar). De inrichting van de openbare ruimte dient zodanig te zijn dat kinderen dit

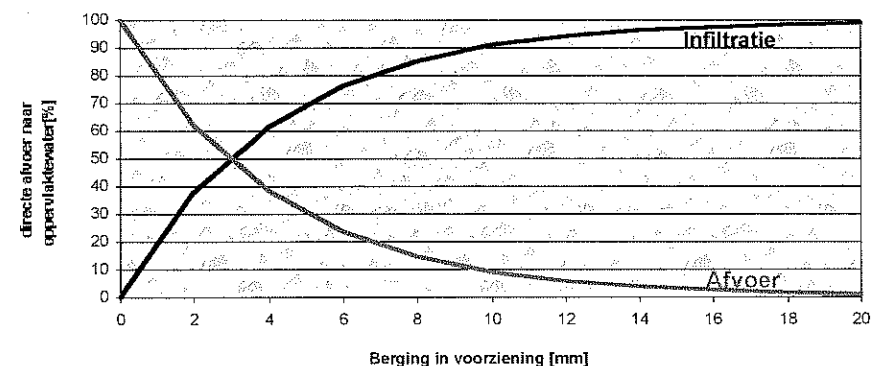
water niet zonder toezicht of hulp van volwassenden kunnen bereiken, zie ook aanbevelingen [consument en veiligheid, 2002].

Richtlijnen: Hydraulisch functioneren Algemeen

Het hydraulisch functioneren van een infiltratievoorziening is in hoge mate afhankelijk van de ontwerpuitgangspunten en geohydrologische situatie. Een goed ontwerp is daarmee de basis voor een goed functionerend systeem.

In Nederland worden veel infiltratievoorzieningen nog gedimensioneerd op theoretische regenduurlijnen. Bij deze methode wordt bijvoorbeeld geen rekening gehouden met inloopverliezen of opeenvolgende buien, waarbij de berging nog niet geheel geleegd is. Berekening op basis van regenreeksen met inloopmodel zal mede daarom een betere voorspelling geven van het gedrag van infiltratievoorzieningen.

In de Duitse richtlijnen wordt voor de berekeningswijze onderscheid gemaakt in het soort voorziening. Voor semi-centrale en centrale infiltratievoorzieningen ¹⁾ (grotere aaneengeschaalde systemen van wadi's) dient conform de DWA-A138 een reeksrekening uitgevoerd te worden. Daarbij wordt minimaal gerekend met een regenduurlijn van tien jaar. De voorziening mag niet meer dan één keer in de tien jaar falen (water op straat). Als maximale verblijfsduur wordt 24 uur aangehouden.



Figuur 2: Relatie tussen berging en overstort bij een doorlatendheid van ($k_d=3$ m/d), [Elsevier, 2000]

Voor decentrale infiltratievoorzieningen volstaat een (vereenvoudigde) berekening met een regen-duurlijn en een kans op overschrijding van één keer in de vijf jaar. Dit geldt ook voor de sleuf met aggregaat, echter de wadi zelf mag één keer per jaar overstorten op de infiltratiesleuf.

In de praktijk is voor berekeningen op straat en wijkniveau een reeks berekening sterk aan te bevelen. Een voorbeeld van de uitkomsten van zo'n reeks berekening wordt weergegeven in figuur 2 (op basis van historische regenreeks 1955-1979 en standaard inloopmodel).

In deze figuur is af te leiden dat een vergroting van de berging van het infiltratiesysteem een niet evenredige grote vermeerdering aan infiltratie in de bodem met zich mee brengt. Zo zal bij een berging van 10 mm negentig procent infiltreren, bij een verdubbeling van de berging naar 20 mm zal het rendement nog geen tien procent toenemen. De verdubbeling van de berging zal niet in verhouding staan met de bijbehorende aanleg- en onderhoudskosten, alsmede het benodigde ruimtegebruik. Gemiddeld zullen bij een berging van 10 mm en een doorlatendheid van 3 m/d twee overstortingen per jaar optreden.

Ter vergelijking: bij een gemiddeld verbeterd gescheiden stelsel wordt ongeveer dertig procent ongezuiverd op het oppervlaktewater geloosd. Indien men dezelfde hydraulische capaciteit vertaald naar een infiltratievoorziening zou onder deze omstandigheden een berging van 5 mm voldoende zijn.

Ontwerp versus praktijk

Uit evaluaties van het ontwerp en (langdurige) metingen na aanleg, blijkt dat het functioneren in de praktijk vaak niet overeenkomt met de dimensionering van het infiltratiesysteem. Zo blijkt enerzijds dat de verwachte hoeveelheid regenwater, waarmee de voorziening wordt belast (inloop), in veel gevallen lager is dan met de modellen is voorspeld. De oorzaak kan gezocht worden in de veiligheidsfactoren die in modellen worden gebruikt (inloopparameters die veilig worden ingeschat of niet worden meegenomen, zoals bij regenduurlijnen).

Daartegenover staat dat in de praktijk vaak 'gesnoept' wordt aan de ruimte voor water uit het ontwerp vanwege diverse praktische redenen en

om het uitgifbaar gebied te verhogen. Zo is in de wijk Ruwenbos in Enschede de werkelijk aangelegde berging in een deel van de wadi's de helft van de ontwerp berging. Oorzaak is onder meer de 'verhardingsdrift' van bewoners en onzekere aannamen. Dit heeft overigens niet tot een slecht functionerend infiltratiesysteem geleid, want uit metingen blijkt dat in de eerste drie jaar na aanleg zo'n 99 procent van het regenwater in de bodem is geïnfilteerd. Of de wadi op lange termijn in dezelfde mate zijn functies blijft vervullen, wordt nader onderzocht.

De onzekerheid bij het ontwerp zit met name ook in de beperkte informatie van de geohydrologische gegevens. Zo worden infiltratievoorzieningen in wijken ontworpen op een of enkele doorlatendheidsmetingen, waarbij niet wordt ingegaan op de meetmethodiek (infiltratometertest, falling head, omgekeerde boorgatenmethode), de ruimtelijke variatie van de doorlatendheid en de omstandigheden waaronder dit is bepaald (verzadigde of onverzadigde zone, grondwaterstand, klimatologische omstandigheden).

Ook wordt vaak weinig aandacht besteed aan de bodemsamenstelling. Zo heeft een doorlatendheid van 3m/d geen waarde als er sprake is van een ondoorlatende leemlaag waardoor het regenwater niet vrij kan infiltreren naar de ondergrond. Ook van de (schijn-)grondwaterstanden is vaak slechts een beperkte dataset van enkele maandelijkse metingen aanwezig [bron: RIONED minicursus 2005, TU Delft PAO 2002].

De aanbeveling om de bodem van de infiltratievoorziening minimaal 0.5 m boven de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) te bepalen op basis van een dataset van ongeveer acht jaar) aan te leggen, wordt bij ondergrondse voorzieningen vaak niet gehaald. Hierdoor is ondergrondse infiltratie in grote delen in het westen van Nederland niet kansrijk.

Met een minimale dekking op buis van 0.8 meter en een gemiddelde doorsnee van IT-riool van 300 mm dient de grondwaterstand namelijk 1.6 meter onder maaiveld te liggen om deze eis te voldoen. Als grondwater voor langere tijd boven de binnenonderkant-buis (bob) van de infiltratievoorziening ligt, zal door de verminderde berging de voorzie-

ning vaker overstorten. De Duitse richtlijn DWA-A138 houdt een minimale afstand vanaf de bodem van de infiltratievoorziening tot het grondwater van 1,0 m aan.

Ook met onzekerheden na aanleg van de voorziening dient men rekening te houden. Zo kan de doorlatendheid in de tijd afnemen door dichtslibbing van de voorziening. Om deze reden wordt in het ontwerp soms een veiligheidsfactor op de doorlatendheid van 0.5 gehanteerd en wordt bij ondergrondse infiltratievoorzieningen de bodem van de voorziening niet als infiltrerend oppervlak meegenomen.

Ook in Duitsland wordt in het ontwerp rekening gehouden met de afnemende doorlatendheid van de bodem bij ondergrondse infiltratievoorzieningen. Bij toepassen van een zandvang wordt geadviseerd te rekenen met een reductie met vijftig procent, zonder zandvang met een reductie van tachtig procent voor de bodem en vijftig procent voor de wanden. Over het daadwerkelijk dichtslibben van voorzieningen in de praktijk is nog niet veel bekend. In 2005 wordt in opdracht van RIONED een onderzoek uitgevoerd over de oorzaken en gevolgen van dichtslibbing, waarbij de leeglooptijden van twee lang functionerende percolatievoorzieningen worden onderzocht.

De hiervoor genoemde onzekerheden kunnen in het ontwerp deels worden ondervangen door regelfuncties in te bouwen en de afvoer te garanderen door overloopvoorzieningen. Een praktisch voorbeeld van een regelfunctie is het installeren van een regelput bij de uitstroom van een infiltratieleiding, waarbij de afvoer kan worden ingesteld (bijvoorbeeld de maximaal toegestane landelijke afvoer van 1.67 l/s/ha), evenals het overstortniveau.

Indien na aanleg blijkt dat de grondwaterstanden hoger zijn dan verwacht, kan het drainageniveau worden aangepast en kan een zomer- en winterpeil worden gehanteerd, waarbij in de zomermaanden meer water zal infiltreren en eventuele wateroverlast in de winterperiode kan worden tegengegaan door het overstortniveau te verlagen.

Afhankelijk van de geohydrologische situatie zal infiltratie effect hebben op de grondwaterstand. Bij

enkele infiltratievoorzieningen in Nederland zijn metingen verricht naar de grondwaterstandsverhoging bij infiltratie. Hieruit blijkt globaal dat de grondwaterstandsverhoging zich beperkt tot enkele centimeters op enkele meters afstand van de voorziening [Tauf, 1998]. Een tijdelijke grondwaterstandsverhoging hoeft vanzelfsprekend geen overlast te veroorzaken en het effect is sterk locatieafhankelijk.

Wel wordt aanbevolen de infiltratievoorzieningen niet direct tegen de gevel te plaatsen, zodat het regenwater de kruipruimte instroomt. Hiervoor kan als minimale afstand van de voorziening tot gevel één meter worden gehanteerd (ter vergelijking: in Duitsland wordt als minimum 1,5 maal de diepte van het cunet aangehouden of een talud 1:1 plus 0,5 m bij bestaande bebouwing. Bij bebouwing met waterdichte kelders hoeft geen minimale afstand van voorziening tot gevel worden aangehouden [DWA, 2005]).

Verblijftijd

Zoals eerder beschreven dient voor het hydraulisch functioneren de wadi bij voorkeur leeg te zijn alvorens de berging met een nieuwe regenbui wordt belast. Vanuit de zuiverende werking dient de lediging van een wadi echter niet te snel gebeuren en spreekt men over een minimale 'verblijftijd'. Gaat de lediging van de wadi namelijk te snel, dan bestaat de kans dat verontreinigingen in het water niet of in mindere mate de kans krijgen zich te binden aan de wadibodem. Bovendien komt dan een aantal afbraak- en omzetprocessen niet goed op gang.

Uit de praktijk blijkt ook een ander nadeel van een te doorlatende bodem, namelijk dat deze onvoldoende water vasthoudt voor de vegetatie. Het blijkt wel eens dat het gras in de wadi helemaal verdroogd is, terwijl het er in de omgeving mooi bijstaat. Doordat het water te snel in de bodem zakt, heeft het gras geen tijd om het op te nemen. Dit pleit dus ook voor een niet te doorlatende grond. Duurt anderzijds de lediging van de wadi te lang, dan bestaat de kans dat het gras flink te lijden heeft van de overvloed aan water. Bovendien is het langdurig onder water staan ook nadelig voor de beschikbare berging bij een volgende bui.

Geotextiel

Een ander aspect bij de ledigingstijd is het geotextiel. Rondom infiltratiebuizen, infiltratiekratten et cetera wordt meestal een geotextiel aangebracht. Ook rondom het aggregaat onder de wadi zit een geotextiel. Deze geotextielen worden onderverdeeld in twee hoofdsorten: de weefsels ('wovens') en de vliezen ('non wovens').

De weefsels worden vervaardigd uit garens of bandjes en bezitten een geordende structuur, vergelijkbaar met een zeef. De vliezen bestaan uit mechanisch, chemisch of thermisch aaneengehechte vezels, met als kenmerk een willekeurige oriëntatie van de vezels. Vliezen zien er daarom vaak 'wollig' uit.

Op theoretische gronden bestaat er wel een voorkeur voor een bepaald type geotextiel in een bepaalde situatie, maar dit wordt nog niet ondersteund door (monitorings)gegevens uit de praktijk. Waar wel overeenstemming over is, is dat deze geotextielen het zand van buiten moeten tegenhouden en het water uit de voorziening moet doorlaten. Uit berekeningen volgt dat voor deze waterdoorlatendheid, voor een 'gemiddelde' situatie, minimaal 10 liter/seconde/m2 moet worden aangehouden.

Toplaagmengsel

De bodemsamenstelling van de toplaag bepaalt de doorlatendheid van de wadi's. Doorgaans kan de oorzaak van een beperkte doorlatendheid van de toplaag in een van de volgende omstandigheden worden gezocht:

- het gebruik (bv. verdichting door intensief gebruik en/of een hoge hydraulische belasting);
 - de omstandigheden (bv. beperkte lichtinval door bomen, hoge grondwaterstand);
 - beheer (bv. lage onderhoudsfrequentie: niet verwijderen van slecht verterend bladval en of hoge mechanische belasting door maaimachine).
- Verder kan de doorlatendheid van de graslaag afwijken van de onderlaag. Als er grasmatten zijn gelegd, kan de doorlatendheid sterk afwijken, aangezien het gras vaak gekweekt wordt op een bodem met een groot gehalte aan klei- of humusfractie.

De ideale mengverhouding voor het toplaagmengsel is afhankelijk van de kenmerken van het water-

systeem, alsmede de inrichting ervan (vegetatie-keuze, licht, onderhoud en dergelijke). Een relatief hoger zandgehalte kan leiden tot een droge grond waarop een gewas niet goed aanslaat vanwege de kleine capillaire opstijging van het water. Doordat het gewas niet aanslaat, worden ook minder (verontreinigde) stoffen uit het afstromende regenwater via het gewas opgenomen en vastgelegd. Tenslotte leidt een weinig begroeide wadi bodem tot snellere dichtslibbing, omdat de bodem niet wordt opgehouden door de wortels van de vegetatie. Een lager zandgehalte in de wadi bodem leidt weliswaar tot een hoger zuiveringsrendement, maar kan leiden tot een lagere doorlatendheid (onwenselijk lange leeglooptijd) of dichtslaan van de grond.

Uit de praktijk (RIONED, mei 2003) blijkt een mengverhouding drainagezand/teelaarde van twee delen drainagezand op één deel teelaarde redelijk goed te functioneren. Hierbij wordt uitgegaan van drainagezand en teelaarde aangezien de samenstelling van deze grondsoorten aan richtlijnen zijn gebonden (RAW-standaardbepalingen). Hierin wordt voorgeschreven dat het gehalte aan minerale delen van de fractie tot 63 µm bij drainagezand niet groter mag zijn dan vijf procent ²⁾ [RAW].

Vaak wordt voor de samenstelling van de toplaag (0,50 m) een mengverhouding aanbevolen van drie delen drainagezand op twee delen teelaarde [RIONED, mei 2003], dit om meer voedingsstoffen voor de vegetatie te leveren en meer verontreinigingen te kunnen vasthouden in de bodem.

Ook bomenzand blijkt in de praktijk goed te voldoen als toplaag in de wadi bodem. Dit is een zandmengsel dat ontwikkeld is voor plantgaten van bomen in verhardingen. Het mengsel kan goed worden verdicht, maar heeft voldoende poriënvolume en bevat voldoende humus om goede groeiomstandigheden voor bomen te garanderen.

Verder wordt er in Duitsland een 'aanbevolen korrelverdelingskurve voor bodemfilters achter gemengde overstorten' gegeven. ³⁾ Gezien de samenstelling van gemengd afvalwater en regenwater zullen deze aanbevelingen niet eenduidig geïnterpreteerd dienen te worden, maar voldoende als eerste richtlijn. Voor deze toepassing wordt

aanbevolen dat het m₅₀-getal in de orde van 355 µm zou moeten liggen. Vaak wordt geadviseerd dat het humusgehalte tussen de twee en tien procent dient te liggen. Optimaal worden waarden van drie tot vijf procent geacht aangezien in de praktijk humusgehalten tussen 2.9 en 4.9 % met succes zijn toegepast [LUB-W, 1998]. De zuurgraad (pH) van de bodem dient in de orde van 6-8 te liggen.

Voor zandfilters bij regenwateruitlaten wordt in Duitsland een dikte van 60 cm aangehouden. Mocht het regenwater sterker vervuild zijn (bijvoorbeeld op industrieterreinen), dan wordt een combinatie met 15 cm dikke filters van teelaarde aanbevolen [DWA, 2005].

In de praktijk wordt nog wel eens bespaard door vrijgekomen grond te verwerken als toplaag of omhulling van infiltratievoorzieningen. Dit leidt in de praktijk tot problemen als een te kleine fractie wordt toegepast en of leem zich in de vrijgekomen grond bevond. Bepaling van de korrelgrootteverdeling van de grond is in dit soort gevallen wenselijk [Taw, 2005 onderzoek naar de vier wadi's in Rheden].

Als belangrijkste ontwerpuitgangspunt voor de bodem van infiltratievoorzieningen wordt in

Duitsland een doorlatendheid tussen de 0.0036 en 3,6 m/h van de onverzadigde zone aanbevolen (voor wadi's > 0,036 m/h). De bovengrens is gesteld om te snelle infiltratie te verhinderen en daarmee doorslaggevaar van verontreinigingen te voorkomen. Tevens is een minimale doorlatendheid vastgesteld als ondergrens, om te lange verblijftijden en langdurige infiltratie evenals anaërobe toestanden te vermijden. Deze doorlatendheden kunnen slechts indicatief worden vertaald naar richtlijnen voor de samenstelling voor de toplaag.

In de Duitse richtlijnen is de leeflaag een laag teelaarde van 10 cm. Alleen bij zwakkere zuiveringscapaciteit van de daaronder liggende verbeterde grond gaat dit naar 20 cm. Verbetering van de grond kan worden bereikt door bijvoorbeeld bijmenging van humus (tot max. 1-3 procent) en kalk. Tussen leeflaag en sleuf met aggregaat wordt een minimaal 10 cm dikke zandlaag ingebracht, met een doorlatendheid van minimaal 0,36 m/h. Deze moet het dichtslibben van het geotextiel voorkomen.

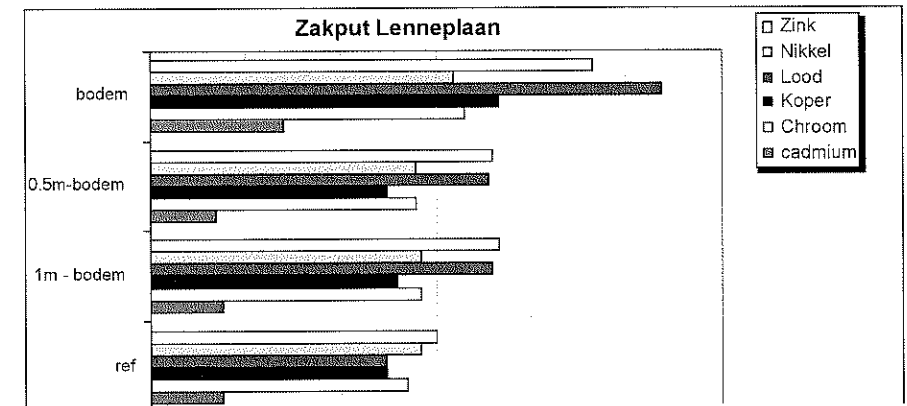
Na de aanleg rest het inzaaien van gras en planten van struiken bomen e.d. De DWA-A138 heeft geen bezwaar bij beplanting van de wadi's, mits er rekening wordt gehouden met ondergrondse delen

www.rioleringswetenschap.net

www.rioleringswetenschap.net

www.rioleringswetenschap.net

www.rioleringswetenschap.net



Figuur 3: Concentraties onder de bodem van een infiltratievoorziening [Taw, 1999]

van de voorziening (sleuf met aggregaat, geotextiel e.d.). De wadi dient buiten de volledige kroonprojectie van de boom te liggen. Afgeraden wordt het gebruik van coniferen, omdat deze de grond verdichten.

Milieuhygiënisch functioneren

Het afstromende regenwater van verharde oppervlakken bevat verontreinigingen. Zware metalen en PAK kunnen in normoverschrijdende concentraties worden aangetroffen (bronmaatregelen om ongewenste vervuiling van het regenwater te voorkomen zijn gewenst). Een groot deel van deze verontreinigingen bevindt zich niet in oplossing, maar is gebonden aan het zwevend stof [wRw 2003]. Zie ook pagina 34 of [Boogaard, Rioleringsstechniek, juni 2005]

Bij infiltratie van het afgekoppelde water in een wadi-bodem worden verontreinigingen vastgehouden door met name de filterende werking van de bodem. Nationale en internationale monitoringsprogramma's (zakputten en bermen bij snelwegen) wijzen uit dat deze accumulatie voornamelijk in de eerste tientallen centimeters van de bodem plaatsvindt (zie voorbeeld figuur 3) [bv: Taww 1999, Grontmij 2004, Stowa 2005].

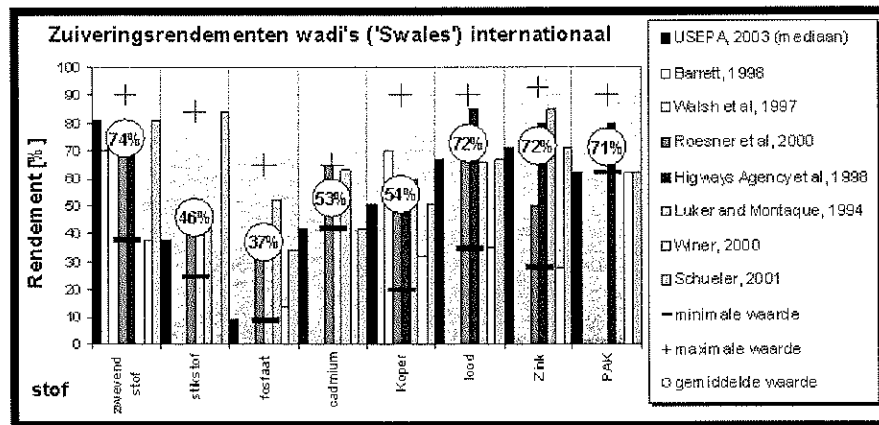
Deze accumulatie kan er toe leiden dat, afhankelijk van de bodemsamenstelling en de kwaliteit van het

afstromende regenwater, deze toplaag naar verloop van tijd zodanig verontreinigd raakt dat deze om (humane) risico's voor de volksgezondheid te vermijden periodiek moet worden verwijderd [vakblad Rioleringswetenschap 2003].

Rendementen

Aan de rendementen van wadi's is in Nederland nog niet veel gemeten. In het buitenland worden wadi's en of bermfiltratie al langer toegepast en zijn diversen systemen ook aan monitoringsprogramma's onderworpen. In figuur 4 'rendementen wadi's' zijn de bepaalde rendementen van enkele wadi's weergegeven. Het betreft diverse onderzoeken uit Engeland en de Verenigde Staten, waarvan de gemiddelde resultaten zijn weergegeven. In de figuur zijn ook de gemiddelde rendementen per stof van de gepresenteerde onderzoeken weergegeven, net als het minimale en maximale bepaalde zuiveringsrendement. Te zien is dat de zuiveringsprestatie per locatie sterk kan verschillen en dat voor stoffen als zware metalen en PAK (en het zwevend stof waar deze stoffen in hoge mate aan gebonden zijn [wRw 2002]) de rendementen over het algemeen hoger zijn dan voor nutriënten (stikstof en fosfaat).

Aangezien in het buitenland de wadi's/filterbermen in hogere mate dan in Nederland een afvoer-



Figuur 4: Rendementen van wadi's internationaal [Bronnen: Barrett M.E 1998, Walsh P M et al 1997, Roesner LA 1999; HASE, 1998; Luker M, 1994; Winer R 2000]

functie vervullen en in mindere mate een bergende en infiltrerende functie, zullen de rendementen in Nederland over het algemeen naar verwachting hoger zijn. Een belangrijk deel van het zuiveringsrendement wordt namelijk niet alleen bepaald door de bezinking van stoffen bij de lagere stroomsnelheden, maar door filtratie en adsorptie bij het infiltreren in de bodem. Ook worden de voorzieningen in het buitenland (zoals Texas) over het algemeen hydraulisch zwaarder belast (intensiteit, niet kwantiteit) dan in Nederland.

Sociaal functioneren

Infiltratievoorzieningen doen een extra beroep op de oplettendheid van bewoners; geen foutieve aansluitingen op infiltratievoorzieningen, geen afval(water) in de kolken, geen autowassen, en minimaliseren van het gebruik van bestrijdingsmiddelen en strooien van zout. Deze zorgvuldigheid is in het algemeen, dus ook in (gescheiden) gerioleerde wijken, gewenst. De medewerking van de bewoners kan alleen worden verwacht indien men ook op de hoogte is van de aanwezigheid en werking van het systeem.

Bij het informeren heeft de gemeente een belangrijke taak, maar bij nieuwbouwprojecten kan bijvoorbeeld de makelaar hier tevens een belangrijke functie in vervullen. Bewoners in nieuwbouwwijken zijn over het algemeen enthousiast over wadi's, aangezien het een meerwaarde aan ruimte en

groen in hun wijk brengt. Bij het ontwerp van de wijk dient van het begin af rekening gehouden worden met het wadi-systeem, zodat optimaal aandacht kan worden besteed aan locatie en vormgeving. Bovendien zijn de bewoners al bij de koop/huur van de woning op de hoogte dat er een wadi-systeem aanwezig is (bijvoorbeeld via stickers aangebracht op meettoestellen in de woning met vermelding dat het een afgekoppelde woning betreft en uitleg).

Ook in de bestaande stedelijke omgeving kunnen wadi's worden ingepast. Omdat dit relatief veel ruimte kost, is dit lang niet overal mogelijk. Het grote verschil met nieuwbouwprojecten is dat de wadi's ingepast moeten worden in de bestaande structuur en een andere functie op die locatie 'verdrukken'. Vaak betekent dit dat een stuk openbaar groen, meestal een speelveld(je), ook de functie van wadi krijgt. De bewoners worden geconfronteerd met een verandering in hun omgeving en dat kan tot allerlei vragen en bezwaren leiden. Er zal dan ook bij de voorlichting veel aandacht moeten worden besteed aan de vragen en opmerkingen van bewoners, omdat het functioneren van wadi's voor een groot deel afhankelijk is van de acceptatiegraad van de bewoners.

Onderhoud en beheer in 'wadi-wijken' verdient de nodige aandacht. Een goed onderhouden wadi draagt bij aan een fraaier straat- en wijkbeeld. Een goed gemaaid wadi zonder kale plekken en zwerfvuil worden door de bewoners hoog gewaardeerd. Bij het ontwerp moet dus rekening worden gehouden dat er eenvoudig onderhoud kan worden uitgevoerd. Dat betekent ondermeer een flauw talud dat makkelijk kan worden gemaaid, slok-op's die goed bereikbaar zijn en een inloop van het water in de wadi die niet tot uitspoeling van het talud leidt.

Acceptatie van het wadi-systeem door de bewoners kan leiden dat men zelf op zoek gaat naar creatieve invullingen van het anders omgaan met water op het eigen terrein. Zo zijn er talrijke voorbeelden van fraai vormgegeven gootjes, vijvers die met regenwater worden gevuld en regentonnen die door bewoners zijn geplaatst. De regenton is over het algemeen een goed middel om de bewo-

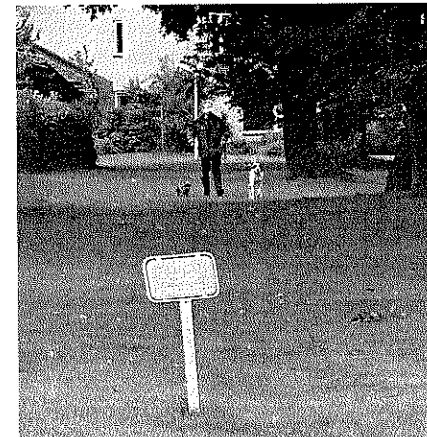


Foto 3: 'Gehoorzaamheid' van bewoners

ner bewust te maken van de aantrekkelijke kanten die regenwater biedt. Om overlast te vermijden wordt bij een volle regenton het eerstvolgende regenwater via een overstort naar de riolering afgevoerd.

Het effect van een dergelijke regenton op de afvoer van regenwater is zeer beperkt. Laten de inrichting van de tuin en de bodemgesteldheid het

toe, dan kan de regenton ook een overstort krijgen op de tuin (direct of bijvoorbeeld op een grindkoffer). In dat geval is het aangesloten dakoppervlak volledig afgekoppeld van de riolering en is het effect van de regenton maximaal.

Ter vergelijking: in Vlaanderen is een nieuwe richtlijn die bij nieuwbouw een regenwaterput verplicht stelt (behalve enkele uitzonderingen bij bv. kleine

dakoppervlakken). De inhoud moet minstens 3000 liter zijn en er moet een pomp op aangesloten zijn met een gegarandeerde regelmatige afname.

Conclusies

Het functioneren van infiltratievoorzieningen is afhankelijk van vele factoren. Infiltratie kan in vele gebieden worden toegepast als de geohydrologische situatie het toelaat en geen ontoelaatbare vervuiling van bodem en grondwater wordt verwacht. Ook in het westen van Nederland zijn al vele wadi's met succes toegepast. Door het recente grote aanbod van producten dat infiltratie van regenwater mogelijk maakt zijn de voorzieningen op diverse manieren in te richten. Deze inrichting draagt in belangrijke mate bij aan het hydraulisch, milieuhygiënisch en sociaal functioneren ervan. Bij het ontwerp, maar ook bij de aanleg en het beheer, van infiltratievoorzieningen komt men veel onzekerheden tegen die men in de praktijk door het garanderen van de afvoer met overloopvoorzieningen en regelfuncties deels kan ondervangen. Goede richtlijnen voor ontwerp, aanleg en beheer – op basis van opgedane kennis in Nederland en het buitenland – zijn voor het optimaal functioneren van de voorzieningen van belang. De aanzet tot richtlijnen voor infiltratie via een wadi wordt in tabel 1 uiteengezet. Ter vergelijking zijn ook enkele Duitse, Engelse en Vlaamse richtlijnen opgenomen.

Bij de richtlijnen wordt opgemerkt dat het ontwerp, de aanleg en beheer van infiltratievoorzieningen maatwerk is. De invulling van de richtlijn hangt mede af van de primaire functies die aan het infiltratiesysteem worden toegekend. Zo zal bij een primair zuiverende functie ontworpen worden met een zo groot mogelijke verblijftijd en bij een primair hydraulische functie van zo klein mogelijke leeglooptijd. De richtlijnen zijn dan ook een hulpmiddel en geen eisen of garanties voor het gewenst functioneren van de voorziening. Daarom zijn de richtlijnen in dit artikel toegelicht, zodat in een specifieke locatie en/of functie gemotiveerd kan worden afgeweken van deze richtlijnen. Kennis is op sommige vlakken te summier zodat onderzoek en monitoring van voorzieningen gewenst blijft. Met nieuwe kennis dienen de richtlijnen te worden bijgesteld.

Aanbevelingen

Infiltratie is een goed middel om grondwater aan te vullen of de afvoer van regenwater te vertragen. Bij een goed ontwerp en adequaat onderhoud en beheer zal de infiltratievoorziening hydraulisch, milieutechnisch en sociaal goed functioneren. Hiervoor volgen enkele aanbevelingen:

1. Bestudeer de geohydrologische omstandigheden (doorlatendheid bodem, bodemopbouw en samenstelling, grondwaterstanden).
2. Kies verantwoorde oppervlakken om af te koppelen [beslisboom wRw 2003].
3. Tref mogelijke bronmaatregelen om verontreiniging van het afstromende regenwater te voorkomen. Naast het beperken van de toepassing van uitlogende materialen moet daarbij gedacht worden aan het inrichten van plaatsen voor het wasen van auto's, hondenuitlaatplaatsen en/of poeproutes, aanpassing van het strooi-beleid of strooi-middelen en een ecologisch verantwoord groen-beheer [wRw 2003].
4. Afgekoppelde verharde oppervlakken dienen goed onderhouden te worden, om vervuiling van het afstromende regenwater te beperken. De frequentie van inspectie of onderhoud aan kolken (met sediment/zandvang) en goten verhogen.
5. Goede communicatie met de betrokken partijen is van groot belang. Daarbij moet gedacht worden aan bewoners maar ook aan aannemers en installatiebedrijven. Steeds meer aannemers krijgen ervaring met infiltratievoorzieningen, maar toch gaan nog vaak dingen verkeerd, omdat inzicht in het systeem ontbreekt.
6. Een infiltratievoorziening kan niet op elke lui berekend worden, daarom dient altijd een overstort aangebracht te worden. De leeglooptijd zal bij voorkeur kleiner dan een dag moeten zijn, de maximale waterstand in de wadi is kleiner dan 0,3 m en het talud van de wadi bedraagt 1:3 of flauwer.
7. De vormgeving van wadi's moet er toe bijdragen dat het risico om te water te raken wordt verkleind en de mogelijkheden om er gemakkelijk uit te klauteren, worden vergroot. Hiertoe de wadidiepte beperken, flauwe ruwe taluds toepassen, de zichtbaarheid van de wadi voor toezicht en hulp (lage begroeiing, duidelijke overgang kant en water) vergroten [Consument en water 2002]. Ook kan de

Tabel 1 samenvatting ontwerprijlijnen voor infiltratie

Parameter	eenheid	Nederland	Duitsland [DWA 2005, LUB-W. 1998]	Engeland/USA [CIRA, 2004]	Belgie [Vlario, 2005]
Naam systeem		Wadi	Mulden-Rigolen-Element	Swale	infiltratiekommen
onverzadigd doorlatendheid topaag (bij aanleg)	[m/h]	omgeving >0,5 m/h	0,0036 < Kd < 3,6		>0,0036
afstand wadibodem tot GHG	[m]	>0,5	>1		
Filterlaagdikte	[m]	0,3-0,5	>0,1 (gem 0,3)		0,3-0,5
Verhouding Awadi/Averharding	[%]	5-10%	>7 (gem: 5-20%)		100 m ² Aw/ 5 à 10 m ² Aw
afstand tot gevel (bij kruipruimten)	[m]	>1	>1,5 maal diepte cunet of (zie tekst)		
Overstortingsfrequentie	[T, n/jr]	T=2-T=5	T=5		T=2-T=5
maximale waterstand wadi	[m]	<0,3	<0,3	circa 0,1	<0,3
Waking	[m]	0,1		0,15	
Ledigingstijd	[h]	<24	<24	verblijftijd >10 min	<24 (tot 48)
Minimale bodembreedte wadi	[m]	0,5		0,6	0,5 à 1 m
Breedte wadi t.p.v. waterlijn	[m]	4			
Talud wadi	[m]	1:3 of flauwer		1:4	1:3 of flauwer
AANDACHTSPUNTEN					
Geotextiel	[O ₉₀]	>300 µm			
Doorlatendheid geotextiel	[l/s/m ²]	>10			
Overloopvoorziening (aantal)	[n]	n>1			
samenstelling filterlaag drainagezand/teelaarde	[n:1]	n= 2 a 3			
humusgehalte		2 – 10%	tussen de 2 en 10%		
m ₅₀ -getal	µm		>350		
zuurgraad bodem	pH		6-8		
maximale (in)stroomsnelheid				1-2 m/s afhankelijk van bodem	

bereikbaarheid beperkt worden door het toepassen van natuurlijke en lage (i.v.m. toezicht).

8. De wadi's kunnen natuurvriendelijk worden ingericht met andere gewassoorten (zoals beschreven in 'Vooronderzoek natuurvriendelijke wadi's; inrichting, functioneren en beheer', RIONED, 2003). Met deze inrichting kan het functioneren van de wadi's worden verbeterd. Ook kan hiermee de opname van stoffen door vegetatie worden bevorderd en de doorslagtermijn worden verlengd. Planten die in een wadi groeien, vergroten de reinigende werking als gevolg van: vergroting van de doorlatendheid van de bodem door wortels, vermindering van verstopping door doorworteling van de toplaag van de bodem, stimulering van ontwikkeling van bacteriën rond de plantenwortels die bijdragen aan de reinigende werking, toenemende invloed van zuurstof in de bodem door werking van luchtweefsel.

Mogelijkheden en motivaties voor een andere inrichting zijn bijvoorbeeld esthetische aspecten, beperking van de groeisnelheid en betreding, minimaliseren van onderhoudskosten en het eventueel inpassen in ecologische verbindingzones.

9. Zorg dat de toplaag van een wadi niet verdicht door het toepassen van een juiste grondverbetering, een gewas dat de bodem openhoudt en onderhoudsmaterieel die de wadibodem ontziet [RIONED 2003, Tauw 2004]

10. Gebruik afhankelijk van de omringende grond een open geotextiel, bij voorkeur met een O90-waarde groter dan 300 µm.

11. Richt een infiltratievoorziening zo laat mogelijk in het bouwproces in, om vervuiling met bouwpuin en dichtslibbing te voorkomen.

12. Infiltratievoorzieningen dienen periodiek visueel gecontroleerd te worden. De aanwezigheid van bomen kan van invloed zijn op de doorlatendheid van de toplaag door schaduw en bladval (eikenblad is bijvoorbeeld slecht verteerbaar, bij ophoping van blad onder de schaduw van de boom kan de doorlatendheid afnemen). Kans op ingroei van wortels bij het plaatsen van bomen dichtbij de infiltratieleiding is aanwezig.

13. De installatie van een regelput in infiltratieleidingen onder de wadi geeft de mogelijkheid om het lozingsniveau van de drain aan te passen aan de omstandigheden: in het najaar en de winter voert het grondwater eerder af (naar oppervlakte-

water) dan in de zomersituatie. In de zomerperiode wordt de afvoer dus begrensd zodat er meer water infiltreert.

14. Voor grote infiltratievoorzieningen wordt geadviseerd een beheersplan op te stellen (inhoud bijvoorbeeld: beschrijving van verantwoordelijkheden, kenmerken van afvoersysteem en aangesloten oppervlakken, controles en beheermaatregelen logboek). Bij grote veranderingen van de bestemming van vlakken dient de bestaande infiltratievoorziening opnieuw getoetst te worden aan het streefbeeld, eisen en wensen. Bij calamiteiten dient de water(kwaliteits)beheerder te worden geïnformeerd.

15. Monitoren van infiltratievoorzieningen geeft inzicht in het hydraulisch en milieutechnisch functioneren. Indien blijkt dat de filterende laag te hoge concentraties aan niet-afbreekbare schadelijke stoffen bevat, kan de bovenlaag worden vervangen. ■

Voetnoten:

1) Centraal' betekent hier: op 1 m² infiltratieoppervlak is meer dan 15 m² verhard oppervlak aangesloten

2) RAW 2000: 'Het draineerzand moet zijn mineraal materiaal, waarvan het gehalte aan minerale deeltjes door zeef 63 µm van de fractie door de zeef 2 mm ten hoogste vijf procent bedraagt. De fractie op zeef 250 µm moet ten minste vijftig procent zijn. Van het draineerzand door zeef 2 mm mag het gloeieverlies ten hoogste drie procent bedragen. Indien en voorzover in bestek vermeld, moet bovendien de doorlatendheid voor het draineerzand voor zanddrains groter zijn dan 1.4*10⁻⁴ m/s.'

3) Literatuur; 'Bodemfilter zur Regenwasserbehandlung im Mischsystem', Landesstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe 1998.

Literatuur

RIONED, 2003 'Wadi's doorgezicht, tussenrapportage over het hydraulische en milieuhygiënisch functioneren en de waardering van bewoners', mei 2003

Tauw 1999 'Effecten van infiltratie in de bodem, Een onderzoek naar de kwalitatieve aspecten van

infiltratie in de bodem', (S. de Jong) Deventer, 1999
Tauw 1999, Praktijkproef infiltratie Zwolle-zuid, Deelrapport I t/m IV, Tauw Deventer, 1999

Elsevier 2000, Waterwijzer Hemelwater in de praktijk

TU Delft 2002 Handout PAO-cursus: 'Beheerst de stad het water?' Boogaard, 27 mei 2002,

Rioned/Waterkip, 2003 'Vooronderzoek natuurvriendelijke wadi's; inrichting, functioneren en beheer'

H2O, nr 3, 2000 'Bewoners in Enschede waardeeren wadi's', F.C.Boogaard, P.Bode

Het waterschap, 2001/23/24 'Monitoringsresultaten wadi-systeem Enschede' F.C.Boogaard, R. Wentink

CIRA, 2004 Sustainable drainage systems, Hydraulic, structural and water quality advice

wRw, 2002 Samenstelling afstromend regenwater stedelijk gebied

wRw 2003 Beslisboom aan en afkoppelen 2003

Stowa 2005 'Kwaliteitsaspecten bij ondergrondse infiltratie', 2005

Riolering 2003, wadi's laten nauwelijkelijk metalen door, Boogaard F.C., Schipper P, Speelman J.P.

Tauw 2001 Praktijkresultaten, De wijken Oikos en Ruwenbos; Monitoring wadi te Enschede, Tauw (R.Wentink&F.Boogaard) 2001

LUB-W, 1998 'Bodemfilter zur Regenwasserbehandlung im Mischsystem', Landesstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe 1998

ATV-DVWK, Abwassertechnische Vereinigung, 'Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser, februari 2000

DWA 'Deutsche Vereinigung für

Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall' Arbeitsblatt DWA-A138 Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagwasser, april 2005

Barrett M.E. 1998 Draft Edwards Aquifer technical guidance manual; permanent best management practices Center for Research in Water resources Bureau of Engineering Rearch University of Texas in Austin (1998)

Walsh P M, Barrett M E, Malina J F, Charbeneau R J, 1997 Use of vegetive controls for treatment of highway runoff, Center for Research in Water resources Bureau of Engineering Rearch University of Texas in Austin 1997

Roesner LA 1999 The hydrology of urban runoff quality management ASCE Virginia, 1999

Highways Agency Scottish executive 1998, National Assembly for wales and department for regional development Northern Ireland (1998)

Luker M and Montaque K 1994 control of pollution from highway drainage discharges, Report 142 CIRIA london, 1994

Winer R 2000 National pollutant removal performance database for stormwater treatment practices- 2nd edition Center for watershed Protection Ellicott City MD, 2000

RIONED 2005 'afkoppelen: hydraulisch ontwerp' Handout minicursus RIONED

Tauw 2005 Monitoring wadi's 'Het Rhedens' in Dieren, Onderzoek naar functioneren van vier wadi's en vastlegging nulsituatie

RIONED 2005 [handout minicursus 'hydraulisch dimensioneren afkoppelvoorzieningen', 24 maart 2005

Vaes G, Bouteligier R, Berlamont J, 2004 'Het ontwerp van infiltratievoorzieningen, Waterniveau, februari 2004

Sieker F (1999) 'Urban water management in

Germany', workshop on urban water management Lissabon Portugal

Consument en veiligheid, 2002

RAW-standaardbepalingen, 2000

Grontmij 2004 'Runoff en verwaaiing Provinciale wegen, Onderzoek naar de risico's voor bodem en water en richtlijnen voor weg en waterbeheer'

Vlario 2005 Katern afkoppelen, bufferen en infiltreren, 20 april 2005

Zeijts T.V. en F. van der, 2003 Drainage en infiltratie in stedelijke gebieden; effect van doorspuiten op werking en levensduur.