



# Vooronderzoek natuurvriendelijke wadi's

Inrichting, functioneren en beheer



2003-04



**stowa**



**stowa**

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

## Vooronderzoek natuurvriendelijke wadi's

Inrichting, functioneren en beheer

**2003** 04

Stichting RIONED  
Postbus 133  
6710 BC Ede  
Bezoek:  
Galvanistraat 1  
6716 AE Ede  
tel: 0318-63 11 11  
fax: 0318-63 33 37  
mail [info@rioned.org](mailto:info@rioned.org)  
[www.riool.net](http://www.riool.net)

Arthur van Schendelstraat 816  
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht  
Telefoon: 030 - 232 11 99  
Fax: 030 - 232 17 66  
E-mail: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl)  
<http://www.stowa.nl>

Publicaties en het publicatie-overzicht  
van de STOWA kunt u uitsluitend bestellen bij:

*Hageman Fulfilment*  
Postbus 1110  
3300 CC Zwijndrecht  
Telefoon: 078 - 629 33 32  
fax: 078 - 610 42 87  
E-mail: [info@hageman.nl](mailto:info@hageman.nl)  
o.v.v. ISBN- of bestelnummer  
en een duidelijk afleveradres.

ISBN 90-5773-207-6

Colofon

Utrecht, 2003

Uitgave:  
STOWA, Utrecht  
RIONED, Ede

Tekst:  
Ir. F.C. Boogaard  
Ir. N. Jeurink  
Ing. J.H.B. Gels

Druk:  
Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA rapportnummer 2003-04

ISBN nummer 90.5773.207.6

## Ten geleide

Hemelwaterinfiltratie speelt een steeds grotere rol bij stedelijk waterbeheer. De Vierde nota waterhuishouding beveelt aan 60 procent van het verharde oppervlak op nieuwbouwlocaties en 20 procent van het verharde oppervlak in bestaande bebouwing af te koppelen. Een wadi-systeem is één van de manieren om hemelwater niet via het conventionele rioolstelsel af te voeren, maar te infiltreren in de bodem.

Wadi's hebben betrekking op verschillende disciplines als stedelijk waterbeheer, riolering, bodembeheer, ruimtelijke ordening en ecologie. Wadi's worden momenteel vooral bekeken vanuit technisch/hydrologisch oogpunt:

- ze dragen bij aan vermindering van de overstortingsfrequentie van rioolstelsels;
- ze dragen bij aan een hoger zuiveringsrendement van rioolwaterzuiveringsinstallaties;
- ze zorgen ervoor dat grondwater op natuurlijke wijze wordt aangevuld.

Dit onderzoek bekijkt wadi's vooral vanuit ecologisch perspectief. Welke mogelijkheden zijn er om wadi's natuurvriendelijk in te richten, en welke voor- en nadelen zitten daaraan vast en hoe dienen ze worde te beheerd?

Dit onderzoek is uitgevoerd door ir. F.C. Boogaard, ir. N. Jeurink en ing. J.H.B. Gels van TAUW in opdracht van de STOWA en Stichting RIONED.

Het onderzoek is begeleid door Antoon Kuhlman (gemeente Nijmegen), Gerdrik Bruins (WS Regge en Dinkel), Ton Beenen (Stichting Rioned) en Bert Palsma (STOWA).

Wij hopen dat met deze rapportage een aanzet wordt gegeven voor een bredere inbedding van wadi's in het beheer en beleid van gemeenten en waterschappen.

Utrecht april 2003  
Ir J.M.J. Leenen

Ede april 2003  
Drs. H.J. Gastkemper

# Inhoud

Colofon

Ten geleide

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>3</b>
1.1	Waarom dit onderzoek? .....	3
1.2	Wat is een wadi? .....	3
1.3	De functies van wadi's .....	4
1.4	De inrichting van wadi's .....	4
<b>2</b>	<b>Hydrologische aspecten</b> .....	<b>6</b>
2.1	Effecten van wisselende waterstanden op wadi-vegetatie .....	6
2.2	De betredingsbestendigheid van wadi-vegetatie .....	6
2.3	Effecten van wadi-vegetatie op de bergingscapaciteit van wadi's .....	7
2.4	Effecten van wadi-vegetatie op de drainerende werking van wadi-bodems .....	8
<b>3</b>	<b>Ecotoxicologische aspecten</b> .....	<b>9</b>
3.1	Verontreinigingen in (afstromend) regenwater .....	9
3.2	Het gedrag van verontreinigende stoffen in wadi-bodems .....	10
3.3	Effecten van verontreinigingen op de groeisnelheid van wadi-vegetatie .....	11
3.4	De opname van verontreinigende stoffen door wadi-vegetatie.....	12
<b>4</b>	<b>Ecologische aspecten</b> .....	<b>15</b>
4.1	De soortkeuze van wadi-vegetaties.....	15
4.1.1	<i>De soortkeuze in bestaande wadi's</i> .....	16
4.1.2	<i>De soortkeuze in natuurvriendelijke wadi's</i> .....	16
4.2	De groeisnelheid van wadi-vegetaties .....	16
4.2.1	<i>De groeisnelheid van bestaande vegetatie</i> .....	17
4.2.2	<i>De groeisnelheid van natuurlijke vegetatie</i> .....	17
4.3	De betreding remmende werking van wadi-vegetaties .....	17
4.3.1	<i>De betreding remmende werking van bestaande vegetatie</i> .....	17
4.3.2	<i>De betreding remmende werking van meer natuurlijke vegetatie</i> .....	18
4.4	De gevoeligheid van wadi-vegetaties voor ziekten en plagen .....	18
4.4.1	<i>De gevoeligheid van bestaande vegetatie</i> .....	18
4.4.2	<i>De gevoeligheid van meer natuurlijke vegetatie</i> .....	18
4.5	De belevingswaarde van wadi-vegetaties .....	18
4.5.1	<i>De belevingswaarde van bestaande vegetatie</i> .....	18
4.5.2	<i>De belevingswaarde van meer natuurlijke vegetatie</i> .....	18
4.6	Het beheer van wadi-vegetaties .....	19
4.6.1	<i>Het beheer van bestaande vegetatie</i> .....	19
4.6.2	<i>Het beheer van meer natuurlijke vegetatie</i> .....	19
4.6.3	<i>Vergelijking van de kosten van bestaand en natuurvriendelijker beheer</i> .....	20
4.7	De landschappelijke inpassing van wadi's .....	20
4.7.1	<i>Landschappelijke inpassing van bestaande wadi's</i> .....	20
4.7.2	<i>Landschappelijke inpassing van meer natuurlijke wadi's</i> .....	20
4.8	De werking van wadi's als ecologische verbindingzones.....	21
4.8.1	<i>De werking van bestaande wadi's als ecologische verbindingzones</i> .....	21
4.8.2	<i>De werking van meer natuurlijke wadi's als ecologische verbindingzones</i> .....	21

<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen.....</b>	<b>22</b>
5.1	Aanbevelingen .....	23
	<b>Literatuur .....</b>	<b>24</b>

### **Bijlagen**

1. Plantensoorten en eigenschappen voor toepassing in wadi's
2. Gegevens over de standplaatsen van de genoemde plantensoorten
3. Programma van eisen en wensen
4. Bewonersonderzoek: Ruwenbos te Enschede
5. Kosten onderhoud en beheer

# 1 Inleiding

## 1.1 Waarom dit onderzoek?

Hemelwaterinfiltratie speelt een steeds grotere rol bij stedelijk waterbeheer. De Vierde nota waterhuishouding beveelt aan 60 procent van het verharde oppervlak op nieuwbouwlocaties en 20 procent van het verharde oppervlak in bestaande bebouwing af te koppelen. Een wadi-systeem is één van de manieren om hemelwater niet via het conventionele rioolstelsel af te voeren, maar te infiltreren in de bodem.

Het wadi-systeem sluit uitstekend aan bij het advies van de Commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw [Commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw, 2000]. Het watersysteem dient duurzaam en betrouwbaar te zijn, aldus de commissie. Om veiligheid te creëren en schade door zowel wateroverlast als droogte te voorkomen, kiest men voor een drietrapsstrategie bij de keuze van maatregelen.

Deze drietrapsstrategie krijgt een verplichtend karakter voor alle overheden:

1. Overtollig water zoveel mogelijk vasthouden in de bodem en in oppervlaktewater. Dit kan onder meer met wadi's.
2. Water zonodig tijdelijk bergen in retentiegebieden langs waterlopen, waarvoor ruimte moet worden gecreëerd.
3. Als de strategieën 1 en 2 te weinig opleveren: water afvoeren naar elders of, als dat niet kan, het water bij zeer extreme omstandigheden gecontroleerd opvangen in daarvoor aangewezen gebieden.

Wadi's hebben betrekking op verschillende disciplines als stedelijk waterbeheer, riolering, bodembeheer, ruimtelijke ordening en ecologie. Wadi's worden momenteel vooral bekeken vanuit technisch/hydrologisch oogpunt:

- ze dragen bij aan vermindering van de overstortingsfrequentie van rioolstelsels;
- ze dragen bij aan een hoger zuiveringsrendement van rioolwaterzuiveringsinstallaties;
- ze zorgen ervoor dat grondwater op natuurlijke wijze wordt aangevuld.

Dit onderzoek bekijkt wadi's vooral vanuit ecologisch perspectief. Welke mogelijkheden zijn er om wadi's natuurvriendelijk in te richten, en welke voor- en nadelen zitten daaraan vast?

## 1.2 Wat is een wadi?

Het afstromend regenwater loopt van daken en woonstraten via gootjes naar een met gras begroeide greppel: de wadi. In de toplaag van de wadi is grondverbetering toegepast zodat het regenwater beter kan infiltreren. Onder de toplaag kan een aanvullende berging worden aangebracht waar het water gebufferd wordt en van waaruit het water naar de omringende grond kan infiltreren. De berging kan bestaan uit kunststof kratten of buizen, uit grind of uit klei-korrels. De berging is omringd door waterdoorlatend geotextiel. Dit voorkomt dat gronddeeltjes in de berging stromen.

De slokop, die bestaat uit een kolk, dient als overstort voor het teveel aan water. Hij staat in verbinding met de drainbuis die zich in de berging bevindt. Het water dat in de slokop komt, wordt daardoor direct via de drainbuis uit het gebied afgevoerd. De berging met drain geeft enerzijds extra buffering (en een 'noodafvoer') van regenwater en zorgt anderzijds bij hoge grondwaterstanden voor afvoer van overtollig grondwater.

### 1.3 De functies van wadi's

Hieronder worden vier basisfuncties van een wadi uiteengezet:

#### *Infiltratie*

Door infiltratie wordt het regenwater vertraagd afgevoerd naar het grondwater. Hierdoor verandert de waterbalans nauwelijks ten opzichte van de oorspronkelijke situatie.

#### *Berging*

Regenwater dat niet direct kan infiltreren, wordt geborgen. Dit voorkomt dat het alsnog te snel naar het oppervlaktewater stroomt en er piekafvoeren ontstaan. In eerste instantie vindt de berging plaats op het maaiveld. Is deze berging vol, dan zal via een noodoverstort (de slokop) de berging onder het maaiveld, de grindkoffer, worden aangesproken.

#### *Drainage*

Bij lage grondwaterstanden (in de zomermaanden) vult het geïnfiltreerde regenwater het grondwater aan. Bij hoge grondwaterstanden (bijv. in de winter) kan infiltratie niet wenselijk zijn en wordt het geïnfiltreerde regenwater afgevoerd naar het oppervlaktewater.

#### *Zuivering*

Het (afstromend) regenwater is over het algemeen niet schoon. Afhankelijk van de aard van het afstromend oppervlak kunnen er stoffen als zware metalen, PAK's en nutriënten in worden aangetroffen. De zuivering van het regenwater vindt plaats in de toplaag van een wadi. Een aantal stoffen kan door de vegetatie en het bodemleven worden opgenomen, of worden omgezet in minder schadelijke stoffen. De overige stoffen worden in de bodem vastgelegd.

### 1.4 De inrichting van wadi's

Aan de inrichting van wadi's - beplantingskeuze, veiligheid, dimensies, etc. - wordt tot op heden weinig aandacht besteed. Door een aangepaste, meer natuurlijke inrichting kunnen het onderhoud en beheer en de daarbij behorende kosten worden geminimaliseerd. Voor deze aanpassing bestaat voldoende draagvlak. Niet alleen bij beheerders maar ook bij bewoners uit wadiwijken komen vragen naar een meer natuurlijke begroeiing van de wijk (bewonersonderzoek [Tauw, 1999-a]).

Door aan wadi's naast puur waterhuishoudkundige ook andere functies toe te kennen, kunnen de negatieve kanten van verstedelijking voor bijvoorbeeld flora en fauna worden verzacht. Een adequate inrichting en een bewuste beplantingskeuze zal zowel de hydrologische als de milieuhygiënische levensduur van wadi's verlengen. Een juiste vegetatiekeuze draagt bij aan een hogere belevingswaarde van een wadi en brengt natuur en water in de stad, wat leidt tot meer leefgenot voor mens en dier.

De begroeiing van wadi's moet aan bepaalde eisen voldoen. Bij het opstellen van deze eisen en het definiëren van de gewenste eigenschappen is kennis nodig over het hydrologisch, het milieutechnisch en het ecologisch functioneren van wadi's. In dit rapport zijn de eisen en gewenste eigenschappen gecategoriseerd in hydrologische, ecotoxicologische en soortspecifieke randvoorwaarden.



*Hydrologische randvoorwaarden*

Welke begroeiing kan gedijen in een wadi, waar sprake is van wisselende waterstanden en langdurige droogvalperiodes? Wat zijn effecten van diverse typen vegetatie op de beschikbare berging en op de drainerende werking van de bodem? Deze aspecten komen aan bod in hoofdstuk 2.

*Ecotoxicologische randvoorwaarden*

In hoeverre ondervindt de begroeiing remming door eventuele verontreinigingen en hoe zit het met de giftigheid van de geplante soorten zelf? Deze aspecten komen aan bod in hoofdstuk 3.

*Soortspecifieke randvoorwaarden*

Welke eisen moeten worden gesteld aan de beplantingen, bijvoorbeeld wat betreft groeisnelheid, beheer en veiligheid. Deze aspecten komen aan bod in hoofdstuk 4.

De ideale wadi voldoet aan een reeks van eisen en wensen. Deze zijn volledigheidshalve uitgewerkt in bijlage 3.

## 2 Hydrologische aspecten

### 2.1 Effecten van wisselende waterstanden op wadi-vegetatie

Het hydraulisch regime in een wadi hangt af van de gebiedsomstandigheden en de ontwerp-uitgangspunten. Over het algemeen worden hydrologische omstandigheden in een wadi gekenmerkt door snelle waterstandswisselingen. De vegetatie in een wadi staat gedurende korte tijd onder water. De dimensionering wordt doorgaans gebaseerd op een maximale waterdiepte van enkele tientallen centimeters en een inundatieduur van ongeveer 24 uur. Buiten deze inundatieperioden kan de wadi langdurig droog staan.

De bovengenoemde omstandigheden lijken het sterkst op plaatsen die van nature gedurende korte tijd inunderen, zoals greppels in beekdalen. In perioden van aanhoudende regenval kunnen deze gedurende langere tijd watervoerend zijn; bij regenval stijgt de waterstand in relatief korte tijd sterk, waarna geleidelijk uitzakking plaatsvindt. Ook op rivieroever is (rond de hoogwaterlijn) een zone te vinden met vergelijkbare omstandigheden. Plantensoorten die van nature op dergelijke plaatsen voorkomen, zijn aan de wisselende waterstanden aangepast. Het mechanisme dat daarbij een rol speelt, verschilt. Sommige soorten schakelen over op een anaërobe omzetting van suikers, sommige beschikken over 'luchtweefsel' (aërenchym) waardoor zuurstof naar de geïnundeerde plantendelen kan worden getransporteerd. Weer andere soorten vertonen een plotselinge strekkingsgroei, waardoor grote delen van de plant (opnieuw) boven de waterlijn uit komen te steken. Ook combinaties van deze mechanismen komen voor, met name bij langer durende inundaties. Niet elke plantensoort beschikt echter over zulke mechanismen. Veel plantensoorten zullen daarom een inundatie van enkele dagen niet overleven. Soorten van permanent natte omstandigheden zullen droge perioden juist niet kunnen overleven. Om deze reden lijken vooral soorten van wissel-vochtige omstandigheden geschikt voor wadi's.

Tot dusverre maakt men in wadi's voornamelijk gebruik van grasmengsels. Deze grasmengsels tolereren inundatie in beperkte mate. Langdurige inundatie kan leiden tot het afsterven van grassen en verslemping van de bodem, waardoor de infiltratiecapaciteit afneemt.

In wadi's zou bij voorkeur gebruik moeten worden gemaakt van plantensoorten die van nature voorkomen op plaatsen met wisselende waterstanden. Het betreft helofyten<sup>1</sup> en andere plantensoorten van periodiek vochtige tot natte omstandigheden. In principe zijn talrijke soorten toepasbaar. Een lijst is te vinden in bijlage 1.

### 2.2 De betredingsbestendigheid van wadi-vegetatie

Van bepaalde grasmengsels is bekend dat ze in hoge mate betredingsbestendig zijn. Dit geldt met name voor de mengsels die op sportvelden worden toegepast. Deze mengsels worden ook vaak als begroeiing voor een wadi gekozen ('SV-mengsels'). Gazonmengsels zijn minder betredingsbestendig, maar verdragen periodieke betreding in principe uitstekend. Denk aan (niet te intensief) wandelen of kinderspel.

Van de betredingsbestendigheid van andere plantensoorten is een beperkte hoeveelheid gegevens bekend. Vooral in relatie tot recreatiedruk is enig onderzoek gedaan naar het verband tussen de intensiteit van recreatie en de samenstelling van de vegetatie. Bekend is dat de hoeveelheid tredplanten (o.a. weegbree-soorten (*Plantago spec.*) en Straatgras (*Poa annua*) toeneemt bij toenemende betreding [Aleva, 1973]. In het algemeen wordt op sterk betreden plaatsen een sterke afname geconstateerd van de oorspronkelijke vegetatie [bijv. Van der Wal, 1981; De Vrieze, 1973]. Ook is bekend dat bij meer natuurlijke vegetaties een te intensieve betreding kan leiden tot een toename van ruigtesoorten als Grote Brandnetel (*Urtica dioica*) en Akkerdistel (*Cirsium arvense*) [Liebrand, 1993].

<sup>1</sup> Helofyten zijn alle wortelende plantensoorten die boven water uitsteken en in de waterbodem wortelen. Enkele voorbeelden zijn Riet, Mattenbies, Grote en Kleine Lisodde en Gele lis.

Betreding leidt in het algemeen tot nivellering, waardoor oorspronkelijk (qua vegetatiestructuur) verschillende gebieden er hetzelfde uit gaan zien [van den Ham en Peltzer, 1995].

In de huidige wadi's, waar gebruik wordt gemaakt van kunstmatige grasmengsels, is de betredingsbestendigheid (zeer) hoog. Betreding door wandelaars of spelende kinderen is vanuit het oogpunt van gevoeligheid van de vegetatie daarom geen probleem.

Wanneer een hoger opgaande, meer gevarieerde vegetatie wordt voorgesteld die bovendien kleurrijker is en een hogere recreatieve (belevings-)waarde heeft, moet worden bedacht dat deze tevens (veel) gevoeliger is voor betreding. Dit hoeft geen bezwaar te zijn, wanneer ervoor wordt gezorgd dat betreding wordt 'geleid'. Dit kan door het aanleggen van paadjes, gecombineerd met uitleg (in een informatiefolder of bord bijvoorbeeld) over de werking van de wadi en de keuze van de planten daarin. Een hogere begroeiing maakt de wadi minder aantrekkelijk voor betreding, zoals voetballende kinderen. Tevens moet worden bedacht dat de (voor betreding) meest kwetsbare plantensoorten zich niet in een wadi zullen vestigen, omdat de omstandigheden voor die soorten naar verwachting (veel) te dynamisch zijn.

### **2.3 Effecten van wadi-vegetatie op de bergingscapaciteit van wadi's**

Een wadi heeft als voornaamste functie het infiltreren van regenwater. Het afvoeren van regenwater naar watergangen is hieraan ondergeschikt. Vegetatie die in een wadi wordt toegepast, moet dus vooral de bergingscapaciteit van de wadi niet nadelig te beïnvloeden. De toename van de weerstand voor afstroming is van minder groot belang.

De in de bestaande wadi's veelal toegepaste grasmengsels blijven laag tot zeer laag, mede als gevolg van het toegepaste, intensieve maaibeheer. Daardoor wordt de bergingscapaciteit niet negatief beïnvloed.

Door het toepassen van andere plantensoorten, zoals helofyten en andere soorten van natte tot vochtige omstandigheden, neemt de hoogte van de vegetatie toe. Dit leidt ertoe dat de bergingscapaciteit enigszins afneemt. Een indicatieve berekening van de mate waarin dit gebeurt, is uitgewerkt in het onderstaande kader.

#### **Beperking van bergingscapaciteit door hoger opgaande vegetatie**

In een min of meer natuurlijke moerasvegetatie bedraagt de gemiddelde hoogte van de vegetatie in het groeiseizoen (mei – oktober) ongeveer 40 – 50 cm. Hoger opgaande planten beperken de berging (t.o.v. laag blijvende vegetatie) enigszins. Aangezien water (tijdelijk) tussen de planten kan staan is de *inhoud* van de begroeiing bepalend voor de beperking van de bergingscapaciteit. Gezien de (gemiddeld) zeer dunne bladdoorsnede is deze te verwaarlozen ten opzichte van de inhoud van de stengels. De stengeldoorsnede verschilt per soort; uitgaande van een hoeveelheid stengels van 100 per m<sup>2</sup> met een doorsnede van 1 cm (dus relatief dikke stengels) en een waterlaag van 30 cm bedraagt de inhoud van de stengels zo'n 2350 cm<sup>3</sup>, terwijl de inhoud van de kolom water op hetzelfde oppervlak van 1 m<sup>2</sup> 300.000 cm<sup>3</sup> bedraagt. De inhoud van de stengels en dus de beperking van de bergingscapaciteit is daarmee gelijk aan ongeveer 0,75 procent. Veiligheidshalve kan bij dimensionering van de wadi met deze beperking rekening worden gehouden door 2-3 procent ruimer te ontwerpen.

## 2.4 Effecten van wadi-vegetatie op de drainerende werking van wadi-bodems

De drainerende werking van de bodem wordt groter naarmate de bodem beter doorworteld is. Verschillende plantensoorten kunnen gebruik maken van verschillende lagen van de bodem. Hoger opgaande, overblijvende plantensoorten hebben bovendien vaak uitgebreidere wortelstelsels dan kleine, eenjarige plantensoorten. Wanneer de vegetatie in een wadi soortenrijker is, zal dus een groter deel van de bodem doorworteld zijn dan bij gebruik van slechts één of enkele soorten. In een soortenarme vegetatie zal (op termijn) een duidelijke scheiding ontstaan tussen de vegetatie en de onderliggende bodem. Daardoor zal de infiltratie over de scheidende laag moeilijker worden en de drainerende werking van de wadi gaan afnemen.

In bestaande wadi's wordt doorgaans gebruik gemaakt van soortenarme grasmengsels. De door de vegetatie doorwortelde zone (dit is de zone waarin het overgrote deel van de biomassa van plantenwortels zich bevinden) heeft een dikte van ten hoogste 10 centimeter. Als gevolg van het intensieve maaibeheer worden, naast de grassen, vooral de soorten gestimuleerd die lager zijn dan de hoogte van de maaibalk. Het betreft een aantal kruipende plantensoorten en rozetvormende plantensoorten. Voorbeelden zijn Witte klaver (*Trifolium repens*), Tijmeprijs (*Veronica serpyllifolia*) (beiden kruipend), Madeliefje (*Bellis perennis*) en Paardebloem (*Taraxacum officinale*) (beiden rozetvormend). In geval van locale verzuring van de toplaag van de bodem, bijvoorbeeld door de invloed van (zuur) regenwater, kan met name Haakmos (*Rhynchospora squarrosus*) sterk toenemen en andere soorten geleidelijk verdringen.

Een meer gevarieerde begroeiing in wadi's leidt ertoe dat een groter (en dieper) deel van de toplaag van de bodem wordt doorworteld. Tevens wordt voorkomen dat een duidelijke scheiding ontstaat tussen de graszoden en de onderliggende bodemlaag. Daardoor kan de bodem in principe (ook op termijn) beter draineren. In bijlage 1 staat informatie over de worteldiepte van een aantal plantensoorten die in wadi's kunnen worden toegepast.

De door planten doorwortelde zone is in deze situatie beduidend groter dan in de bestaande situatie. Afhankelijk van de soortensamenstelling is de doorwortelde laag enkele tientallen centimeters dik. De door eventueel aanwezige bomen doorwortelde laag kan sterk variëren; doorgaans bevindt de doorwortelde laag zich boven de gemiddelde hoogste grondwaterstand. In woonwijken kan de door bomen doorwortelde laag zodoende gemakkelijk 70 cm of meer dik zijn.

Een gevarieerde begroeiing is niet alleen drainage-verbeterend, maar ook erosie-bestendiger. Dit blijkt uit onderzoek op rivierdijken, waar begroeiing met stroomdalsoorten een beduidend grotere erosie-bestendigheid bleek te hebben dan het op dijken doorgaans toegepaste zaai-mengsel van zaden van enkele grassoorten (met name Rood zwenkgras, Gewoon struisgras en Veldbeemdgras) [Liebrand, 1993].

### 3 Ecotoxicologische aspecten

In dit hoofdstuk gaan we in op het milieutechnisch functioneren van wadisystemen. Het gaat hierbij om verontreinigingen die de milieuhygiënische levensduur van het watersysteem bepalen. Regenwater neemt de verontreinigingen bij stroming over verharde oppervlakken (daken en wegen) op, zoals polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) en zware metalen. De verontreinigingen worden gefilterd door de toplaag van de wadi.

In dit hoofdstuk gaan we allereerst in op de stoffen en hun concentraties in afstromend regenwater (paragraaf 3.1) en op de wijze waarop deze stoffen zich in de bodem gedragen (paragraaf 3.2). Vervolgens worden de (theoretisch) mogelijke effecten van de aanwezigheid van verontreinigingen behandeld. Paragraaf 3.3 gaat in op mogelijke effecten van verontreinigingen op de groeisnelheid van de planten die in een wadi voorkomen. Paragraaf 3.4 belicht dit verschijnsel (opname van stoffen) ten slotte omgekeerd: planten kunnen immers ook worden ingezet om de concentratie van bepaalde verontreinigingen terug te dringen.

#### 3.1 Verontreinigingen in (afstromend) regenwater

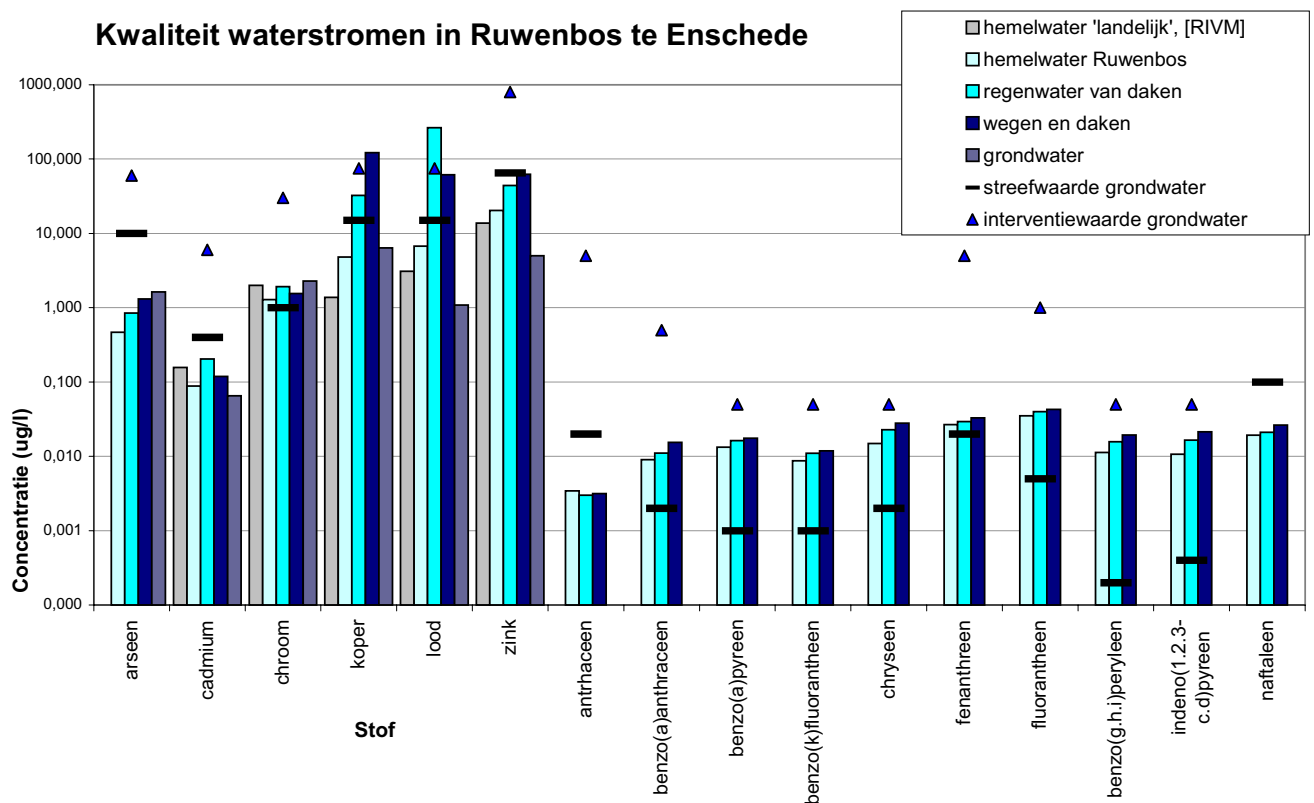
Regenwater is niet schoon. Al voor dat het op de grond valt, bevat het verontreinigingen. Als het regenwater in stedelijk gebied over verharde oppervlakken zoals daken en wegen stroomt, worden bovendien nieuwe verontreinigingen aan het hemelwater toegevoegd. De concentraties van verontreinigingen in afstromend regenwater kunnen van plaats tot plaats en van tijd tot tijd sterk verschillen. Dit is een gevolg van de volgende combinatie van factoren:

- de aard en het gebruik van het afstromend oppervlak;
- het soort verkeersbelasting en de verkeersintensiteit;
- het soort straatmeubilair;
- het soort dakbedekking (zinken dakgoten, loodslabben);
- het soort bestrating (open of dichte verharding);
- locatiespecifieke omstandigheden (industrieën, vliegvelden);
- seizoensgebonden omstandigheden (strooizouten, bladval).

Over het algemeen wordt aangenomen dat het water van daken schoner is dan dat van wegen, zodat het van daken afstromende regenwater als eerste van de riolering wordt afgekoppeld. Bij het gebruik van wadi's - waarbij stoffen door de bodem worden afgevangen - worden vaak ook wegen afgekoppeld.

Om inzicht te krijgen in de kwaliteit van de diverse waterstromen bij afkoppelen zijn in Enschede diverse metingen verricht. In de Enschedese nieuwbouwwijk Ruwenbos zijn voor het eerst op grote schaal in Nederland wadi's toegepast. De wadi's worden gemonitord om inzicht te krijgen in het hydrologisch en milieuhygiënisch functioneren. Voor het monitoren van het milieuhygiënische deel worden periodiek monsters genomen van het hemelwater en het afstromend regenwater in de wijk.

De metingen naar de kwaliteit van de waterstromen van diverse oppervlakken zijn in figuur 3.1 samengevat. Het betreft gemiddelden van driemaandelijke steekmonsters die gedurende twee jaar genomen zijn. In de figuur zijn ook de kwaliteitseisen voor grondwater opgenomen, alsmede de meetresultaten van het dichtstbijzijnde station uit het Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling [RIVM]. Het betreft natte depositie in het landelijk gebied.



**Figuur 3.1** Kwaliteit van diverse waterstromen in Enschede, vergeleken met vigerende normen.

Over het algemeen blijkt in het hemelwater dat nog niet tot afstroming is gekomen een aantal stoffen al in hoge concentraties aanwezig te zijn. Dit wordt bevestigd door andere metingen, waaronder infiltratieproeven in Zwolle [Tauw, 1999-a]. Bij afstroming over daken en wegen kunnen stoffen aan het water worden toegevoegd. Hierdoor nemen de concentraties toe (droge depositie en uitloging). Bronmaatregelen verdienen aanbeveling. Denk hierbij aan het vermijden, behandelen of verwijderen van uitlopende materialen als zware metalen. Andere maatregelen die kunnen bijdragen aan het terugdringen van verontreinigingen en daarmee aan het verlengen van de levensduur van de infiltratievoorziening, zijn:

- het frequent onderhouden van verharde oppervlakken en kolken;
- ecologisch beheer;
- een aangepast (i.c. minder intensief) strooibeleid bij gladheid.

### 3.2 Het gedrag van verontreinigende stoffen in wadi-bodems

Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), zware metalen en andere microverontreinigingen binden zich aan de zwevende stoffen in het afstromend regenwater. Daardoor worden ze bij infiltratie afgevangen in de bodem. De vastlegging van deze stoffen is een voordeel van de bovengrondse infiltratie, aangezien het zuiveringsrendement hoger is dan bij rioolwaterzuivering. Bovendien vindt geen verspreiding in het milieu plaats, maar is bekend waar deze stoffen zich bevinden. Het gedrag van stoffen in de bodem is afhankelijk van processen als filtratie en adsorptie. Deze processen zijn bijvoorbeeld afhankelijk van de mate van verontreiniging, de bodemopbouw en samenstelling.

Om het gedrag van stoffen in de bodem bij infiltratievoorzieningen te bepalen, zijn onder meer metingen verricht in Gelderland (op diverse plaatsen) en Overijssel (Zwolle en Enschede). In Gelderland zijn 17 infiltratievoorzieningen bemonsterd die tientallen jaren in gebruik waren en gevoed werden met afstromend regenwater van diverse verharde oppervlakken [Tauw, 1999-b]. Het onderzoek wees uit dat de concentraties met een toenemende diepte afnemen en zich concentreren in een laag van enkele tientallen centimeters dikte juist onder de bodem van de voorziening. Op een diepte van 0.4 tot 0.5 m zijn vrijwel alle concentraties onder de streefwaarde. In het grondwater zijn geen overschrijdingen aangetroffen, die zijn toe te schrijven aan het infiltreren van regenwater. De bevindingen van dit onderzoek in Nederland komen overeen met de bevindingen van internationaal onderzoek. Daarom wordt een bodemlaag/filterlaag van 50 cm boven de grondwaterspiegel (GHG) geadviseerd.

### 3.3 Effecten van verontreinigingen op de groeisnelheid van wadi-vegetatie

Van landbouwgronden is bekend dat verzuring de belangrijkste drijvende kracht is achter de mobilisatie van zware metalen [Ter Meulen-Smidt et al., 1997]. Verzuring leidt tot het afsterven van regenwormen, pissebedden en miljoenpoten, waardoor de afbraak van organische stof minder snel verloopt. De bescherming van planten tegen hoge gehalten van zware metalen wordt doorgaans<sup>2</sup> ‘verzorgd’ door *mycorrhiza*, schimmels die een ‘samenwerkingsverband’ met de plantenwortels aangaan. De gevoeligheid van *mycorrhiza* voor verzuring loopt sterk uiteen en varieert van niet gevoelig tot zeer gevoelig. Van Struikheide (*Calluna vulgaris*) en Dopheide (*Erica tetralix*) is bekend dat ze weinig gevoelig zijn als gevolg van de werking van de *ericoïde mycorrhiza*. Engels raaigras (*Lolium perenne*) geldt daarentegen als relatief gevoelig.

#### *Cadmium*

Van cadmium is een negatief effect bekend op bacteriën en op schimmelgroei-stimulerende nematoden en mijten. Gevolg hiervan is dat de hoeveelheid organisch materiaal ophoopt, wat uiteindelijk leidt tot vervilting van de grasmat. De grasmat wordt dan geleidelijk dikker en soortenarmer, aangezien nog slechts enkele soorten in de veel dikkere laag organische stof kunnen overleven.

#### *Aluminium*

Aluminium wordt wel beschouwd als de voornaamste opbrengstbeperkende factor. De concentratie ervan kan in verzuurde bodems (sterk) toenemen. Hoewel het zware metaal tot op zekere hoogte groeistimulerend werkt, heeft een hoge concentratie een toxische werking. De hoogte van die concentratie verschilt per soort; voor kalkminnende (*calcicole*) soorten bedraagt deze ongeveer 65 µg/l en voor kalkmijdende (*calcifuge*) soorten, zoals Gaspeldoorn (*Ulex europaeus*) en Borstelgras (*Nardus stricta*) ongeveer 260 tot 390 µg/l (gegevens RUU), beide waarden uitgedrukt als de concentratie aluminiumionen in het poriewater.

#### *Zware metalen*

De gevoeligheid van planten en dieren voor zware metalen verschilt per soort, per populatie, per geslacht en soms zelfs per individu. Dit heeft te maken met de verschillen in blootstelling (concentratie) aan de verontreiniging, met het gedrag van de soort en de wijze waarop de verontreiniging wordt opgenomen (bijv. verschillen in voedselkeuze).

Van een aantal soorten is bekend dat ze relatief ongevoelig zijn voor metaalverontreiniging. Rood zwenkgras (*Festuca rubra*), Gewoon struisgras (*Agrostis capillaris*) en Schapegras (*Festuca ovina*) zijn relatief ongevoelig voor hoge gehalten zware metalen [Van Hesteren et al., 1998]. Niet verwonderlijk, aangezien deze soorten vooral op de van nature reeds zure zandgronden van het pleistocene gebied voorkomen. Deze grassoorten zullen ook in een meer natuurlijk begroeide wadi kunnen voorkomen.

---

<sup>2</sup> Geschat wordt dat 70 tot 90 procent van de zaadplanten in het bezit is van enige vorm van mycorrhizering.

### PAK's

De gevoeligheid van planten voor verontreinigingen met PAK's is niet bekend [Lokhorst, 1997].

Concentraties waarboven sprake is van beginnende 'fytoxiciteit' resp. problemen met betrekking tot de landbouwkundige functie, zijn vermeld in tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Concentraties van zware metalen (mg/kg droge stof) waarboven groeibeperking is te verwachten

Stof	Concentratie waarboven sprake is van beginnende fytoxiciteit	Concentratie waarboven problemen ontstaan m.b.t. landbouwkundige functie
Arseen	Niet bekend	30
Cadmium	3-8	5
Chroom	Niet bekend	200
Koper	60-125	50
Lood	100-400	500
Nikkel	100	15
Zink	70-400	100

#### *Effecten in bestaande wadi's*

In wadi's wordt vaak gebruik gemaakt van gazonmengsels (van graszaden), waarin naast Engels raaigras (*Lolium perenne*) vooral Veldbeemdgras (*Poa pratensis*) voorkomt. Op zandige gronden zal zich uiteindelijk een graslandtype ontwikkelen dat wordt gedomineerd door Rood zwenkgras (*Festuca rubra*), Gewoon struisgras (*Agrostis capillaris*) en Gestreepte witbol (*Holcus lanatus*). Van Engels raaigras (*Lolium perenne*) is bekend dat de soort relatief gevoelig is voor verontreinigingen met zware metalen [Van Hesteren et al, 1998]. De andere soorten zijn relatief resistent tegen deze verontreinigingen, evenals bijvoorbeeld Witte klaver (*Trifolium repens*), die sterk kan toenemen in intensief gemaaid graslanden.

#### *Effecten in meer natuurlijk ingerichte wadi's*

Een begroeiing met meer natuurlijke plantensoorten in een wadi, bijvoorbeeld bestaande uit soorten van (periodiek) vochtige tot natte omstandigheden, wordt naar verwachting niet sterk in de groei geremd door verontreinigingen. Dat komt door de te verwachten relatief lage gehalten van verontreinigingen en door de toepassing van soorten die op (vochtige) zandige bodems thuishoren. Van deze soorten mag worden verwacht dat ze zijn aangepast aan de daar heersende (zwak) zure omstandigheden, aan situaties die periodiek door regenwater worden beïnvloed. Van deze soorten mag daarom tevens worden verwacht dat hun gevoeligheid voor verontreinigingen met zware metalen relatief gering is.

### **3.4 De opname van verontreinigende stoffen door wadi-vegetatie**

De concentraties verontreinigingen in het naar een wadi afstromende regenwater kunnen de streefwaarde voor grondwater overschrijden (zie paragraaf 3.2). Deze stoffen zijn in het water opgelost en worden gebonden aan de bodem (paragraaf 3.3). Opname van deze stoffen door de vegetatie, analoog aan de werking van een helofytenfilter, zou de verontreinigingen uit de bodem kunnen halen. De stoffen zouden vervolgens met het maaisel kunnen worden afgevoerd<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> In Nederland wordt het maaisel in enkele provincies (Gelderland/Overijssel) ondergeploegd.



Planten die in een wadi groeien, vergroten de reinigende werking [Bahlo en Wach, 1992] door:

- vergroting van de doorlatendheid van de bodem door wortels;
- verhindering van verstopping<sup>4</sup> door doorworteling van de toplaag van de bodem;
- stimulering van de ontwikkeling van bacteriën rond de plantenwortels die bijdragen aan de reinigende werking;
- toenemende invloed van zuurstof in de bodem door werking van luchtwoefsel (aërenchym).

Het is bekend dat de concentraties zware metalen die in planten worden aangetroffen, sterk kunnen afwijken van de concentratie die in de bodem wordt gevonden. De relatie is niet rechtlijnig. Dit houdt verband met de complexe relatie tussen een toename van bijvoorbeeld verzuring en de ophoping van zware metalen enerzijds en organische stof anderzijds. Wel is het zo dat het gehalte van bijvoorbeeld cadmium in organismen hoger is naarmate de blootstelling hoger is [Léon, 1993]. De opname verschilt overigens per soort. Van bijvoorbeeld eenzaadlobbigen (grassen en grasachtigen) is bekend dat deze meer zware metalen opnemen dan tweezaadlobbigen (kruiden) [Léon, 1993]. Ook binnen de plant is de verontreiniging niet homogeen verdeeld. De hoogste concentraties worden aangetroffen in de plantenwortels. De concentraties nemen af in de volgorde: stengels, bladeren en reproductieve delen (zaden en vruchten).

Via de voedselketen kunnen verontreinigingen zich ophopen. In soorten die hoger geplaatst zijn in de keten, bijvoorbeeld bepaalde plantenetende diersoorten, worden hogere concentraties aangetroffen dan in 'lager geplaatsten'. Dat wordt veroorzaakt door de ophoping van de verontreinigingen in de lever van de gewervelde dieren. Met name insectenetters als spitsmuizen, mollen, egels en zangvogels voeden zich vrijwel uitsluitend met insecten, waarvan het gehalte aan slecht afbrekende verontreinigingen vaak al hoog is. In de soorten die zich met deze dieren voeden, zoals roofvogels, uilen en marterachtigen - zogenoemde toppredatoren - zijn de concentraties relatief gezien het hoogst.

#### *De opname van verontreinigingen door bestaande vegetatie*

In wadi's wordt momenteel vaak een grasmengsel toegepast, dat met grote regelmaat wordt gemaaid. De opname van de genoemde stoffen door grassen is niet bekend. Het gemaaid gras wordt niet verwijderd, zodat na het maaien rotting plaatsvindt. De rottingsproducten komen vrij, waarna deels opname door de resterende vegetatie plaats heeft. Afvoer van verontreinigingen vindt daarmee niet of nauwelijks plaats.

#### *De opname van verontreinigingen door meer natuurlijke vegetatie*

Een meer natuurlijke vegetatie in combinatie met veel extensiever maaibeheer kan ervoor zorgen dat verontreinigingen zich niet langer in de wadi ophopen, maar (met het maaisel) worden afgevoerd. Het betreft uiteraard alleen de verontreinigingen die ook door de planten worden opgenomen, met name nutriënten. Deze kunnen in hoge concentraties in het afstromend regenwater voorkomen, zoals werd aangetoond op de VINEX-locatie Leidsche Rijn. Hier werden tevens mogelijk ziekteverwekkende bacteriekolonies aangetroffen, wat pleitte voor het realiseren van hondenuitlaatplaatsen.

Zware metalen kunnen vooral op zuurdere plaatsen door vegetatie worden opgenomen, aangezien op deze plaatsen de metalen vrijkomen uit de adsorptiecomplexen met bodemdeeltjes. Op deze plaatsen kunnen met het afvoeren van maaisel dus ook zware metalen worden afgevoerd<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> In zandfilters die worden toegepast bij drinkwaterbereiding kan na relatief korte tijd een afdichtende, filtratieverhinderende laag ontstaan.

<sup>5</sup> Te hoge concentraties van zware metalen kunnen overigens leiden tot groeibemmeringen.

### **Opname van verontreinigingen door vegetatie**

Van diverse soorten planten is bekend dat deze verontreinigingen kunnen opnemen. Helofyten worden om die reden toegepast voor het verwijderen van vooral nutriënten. Dit gebeurt in zogenoemde helofytenfilters. Helofyten nemen echter alleen het poriewater in de bodem op en de daarin opgeloste stoffen. Verontreinigingen die aan bodemdeeltjes zijn gekoppeld, worden dus niet door de planten opgenomen, tenzij deze adsorberen aan het worteloppervlak [Van Leeuwen en Hermens, 19\*\*]. Wel zullen deze bodemdeeltjes (in het water vaak aanwezig in de vorm van zwevend stof) kunnen bezinken door de veel lagere stroomsnelheid tussen de helofyten. Periodiek verwijderen van slib leidt er dan toe dat de verontreinigingen worden verwijderd.

Sommige wilgensoorten kunnen in de bodem geïmmobiliseerde verontreinigingen (bv. zink) opnemen [Rønde Nissen en Lepp, 1997], [Landberg en Greger, 1996], [Perttu en Kowalik, 1997]. Deze soorten zijn in staat hun wortelmilieu te verzuren met behulp van salicylzuur. Onder zure omstandigheden kunnen de geïmmobiliseerde stoffen opnieuw in oplossing komen en vervolgens door de planten worden opgenomen.

### *Beperkingen voor hergebruik van maaisel door verontreinigingen*

Ophoping van zware metalen in het toegepaste gewas kan ertoe leiden dat de norm wordt overschreden voor toepassing van maaisel als compost. Is dat het geval, dan kan het maaisel dus niet langer worden gecomposteerd, maar moet het worden verwerkt als chemisch afval. Het behoeft geen betoog dat de kosten daarvan beduidend hoger zijn dan de compostering van het groenafval. Dit lijkt voldoende reden om de input van verontreinigingen zo gering mogelijk te laten zijn.

De maximale concentraties van zware metalen die in het maaisel worden toegestaan voor hergebruik in compostering, zijn weergegeven in tabel 3.1 (derde kolom, [Van Hesteren et al., 1998]).

## 4 Ecologische aspecten

### 4.1 De soortkeuze van wadi-vegetaties

De plantensoorten die worden gebruikt in een wadi, moeten bestand zijn tegen:

- langdurige perioden van droogte;
- periodieke, enkele dagen durende inundaties;
- relatief voedselrijke omstandigheden.

In een min of meer natuurlijke situatie zijn de soorten van deze omstandigheden te vinden in of bij oevers van watergangen. Vooral soorten die relatief hoog op de oever van een watergang, op min of meer zandige en enigszins humeuze plaatsen voorkomen (bijvoorbeeld in rivierdalen) kan men in een wadi goed toepassen. Het betreft de soorten die zijn vermeld in onderstaand schema.

#### Soorten die kunnen worden toegepast in een wadi

##### Houtige gewassen (bomen en heesters)

Zwarte els	<i>Alnus glutinosa</i>
diverse soorten wilgen	<i>Salix spec.</i>
Gewone vlier	<i>Sambucus nigra</i>

##### Helofyten

Grote waterweegbree	<i>Alisma plantago-aquatica</i>
Zwanebloem	<i>Butomus umbellatus</i>
Riet	<i>Phragmites australis</i>
Mattenbies	<i>Scirpus lacustris lacustris</i>
Grote lisdodde	<i>Typha latifolia</i>
Kleine lisdodde	<i>Typha angustifolia</i>

##### Hoger opgaande plantensoorten (geen helofyten)

Gewone engelwortel	<i>Angelica sylvestris</i>
Kleine waterpeppe	<i>Berula erecta</i>
Knoopkruid	<i>Centaurea jacea</i>
Wilgenroosje	<i>Chamaerion angustifolium</i>
Koninginnekruid	<i>Eupatorium cannabinum</i>
Moerasspirea	<i>Filipendula ulmaria</i>
Moeraswalstro	<i>Galium palustre</i>
Veldlathyrus	<i>Lathyrus pratensis</i>
Moerasrolklaver	<i>Lotus pedunculatus</i>
Gewone kattenstaart	<i>Lythrum salicaria</i>
Watermunt	<i>Mentha aquatica</i>
Moeras-vergeetmijnietje	<i>Myosotis scorpioides</i>
Grote egelskop	<i>Sparganium erectum</i>
Poelruit	<i>Thalictrum flavum</i>
Grote valeriaan	<i>Valeriana officinalis</i>

##### Overige plantensoorten (laag blijvend)

Kruipend zenegroen	<i>Ajuga reptans</i>
Pinksterbloem	<i>Cardamine pratensis</i>
Penningkruid	<i>Lysimachia nummularia</i>
Egelboterbloem	<i>Ranunculus flammula</i>
Blauw glidkruid	<i>Scutellaria galericulata</i>
Grasmuur	<i>Stellaria graminea</i>
Zeegroene muur	<i>Stellaria palustris</i>
Beekpunge	<i>Veronica beccabunga</i>
Gewone ereprijs	<i>Veronica chamaedrys</i>

Aan het beheer van een min of meer natuurlijke vegetatie in de wadi moet men veel aandacht besteden. Doet men dat niet, dan is de kans op verruiging groot. Dit geeft snel een indruk van verwaarlozing, hetgeen juist in stedelijk gebied vermeden zou moeten worden.

Enige eigenschappen van de standplaatsen van vegetatiesoorten staan vermeld in bijlage 2.

#### 4.1.1 De soortkeuze in bestaande wadi's

In bestaande wadi's maakt men vooral gebruik van graszaadmengsels met Engels raaigras (*Lolium perenne*) en Veldbeemdgras (*Poa pratensis*). Deze gazonmengsels zijn niet aangepast aan perioden van inundatie, maar zullen een periode van langdurige droogte in principe goed kunnen overleven. De inundatieperiodes worden getolereerd, dat wil zeggen dat er geen sterk negatieve invloed van het water uitgaat op de planten. Tijdens een periode van inundatie is de groeisnelheid van de planten nihil, doordat het laag blijvende planten betreft die niet in staat zijn snel boven een waterlaag uit te steken.

In de landbouw (voor beweiden en/of maaien) wordt gebruik gemaakt van graszaadmengsels met vooral Engels raaigras (*Lolium perenne*), Timoteegras (*Phleum pratense*), Veldbeemdgras (*Poa pratensis*), Beemdlangbloem (*Festuca pratensis*) en daarnaast ook Witte klaver (*Trifolium repens*). Deze grasmengsels worden, afhankelijk van het hoofdgebruik van de grond, in verschillende mengverhoudingen gebruikt. De mengsels hebben een snelle vestiging, een hoge drogestofopbrengst (maaien) en een uitstekende voedingswaarde voor het vee [Advanta, Van der Have, 1999].

Het inzaaien met een standaard landbouwhandelsmengsel 'BG5' (een mengsel van Engels raaigras, Timoteegras, Veldbeemdgras, Beemdlangbloem en Witte klaver) in een hoge dichtheid (70 kg/ha) leidt tot een vertraging van de ontwikkeling van een meer natuurlijke (oorspronkelijke) vegetatie. Inzaai met 20 à 25 kg/ha eenjarig Italiaans raaigras (*Lolium multiflorum*) of doorzaai met een standaard dijkmenngsel 'D1' (een mengsel van Engels raaigras, Veldbeemdgras, Rood zwenkgras (*Festuca rubra*) en Witte klaver) lijkt de ontwikkeling van de gewenste vegetatie niet te hinderen.

#### 4.1.2 De soortkeuze in natuurvriendelijke wadi's

De planten die kunnen worden toegepast in een wadi, verschillen sterk in hoogte, uiterlijk, bloeiperiode en bloemkleur (zie ook bijlage 1). Afhankelijk van de gekozen soorten, ontstaat daarom steeds een ander beeld.

Wanneer men een min of meer natuurlijke vegetatie ambieert, is het aan te bevelen lokaal gewonnen zadenmengsels te gebruiken en terughoudend te zijn met traditionele graszaadmengsels. Wellicht kan hiervoor lokaal gewonnen zadenrijk maaisel of hooi worden gebruikt. Van de vegetatieontwikkeling op verzwaarde rivierdijken is bekend dat deze wijze van inzaaien leidt tot een relatief snelle herontwikkeling van de oorspronkelijke vegetatie. Probleem hierbij is wel dat door verschillende bloeitijdstippen van plantensoorten bij een eenmalig maaitijdstip selectie van soorten optreedt [Liebrand, 1993].

## 4.2 De groeisnelheid van wadi-vegetaties

Na de aanleg van een wadi is het gewenst dat de toegepaste vegetatie snel aanslaat. Het eindbeeld van de vegetatie wordt daarmee relatief snel bereikt. Soorten die (zeer) langzaam groeien, kunnen in een wadi daarom het beste worden vermeden.

Nadat het eindbeeld zich heeft ontwikkeld, moet de groeisnelheid juist (zeer) laag zijn. Wanneer dit het geval is, kan immers met een betrekkelijk lage beheersintensiteit worden volstaan en zal de af te voeren hoeveelheid (groen)afval klein kunnen blijven.

#### 4.2.1 De groeisnelheid van bestaande vegetatie

De grasmengsels die in bestaande wadi's worden toegepast, vormen na inzaai in principe snel een gesloten grasmat. Ook na het dichtgroeien blijft de groeisnelheid hoog, hoewel deze sterk afhankelijk is van de voedselrijkdom van de bodem en de eventuele toepassing van bemesting met kunstmest. In de praktijk wordt daarom, en om ervoor te zorgen dat de vegetatie laag blijft, intensief gemaaid; een maaifrequentie van ruim 20 maal per jaar is niet uitzonderlijk. Het maaisel blijft daarbij doorgaans achter.

#### 4.2.2 De groeisnelheid van natuurlijke vegetatie

De meeste soorten die van nature voorkomen in de (hogere) oeverszone langs watergangen (waaronder rivieren), zijn soorten van relatief voedselrijke omstandigheden. Soorten die daar betrekkelijk hoog worden, maken op efficiënte wijze gebruik van de aangeboden voedingsstoffen. Het zijn de soorten die vooral in het begin van het seizoen, bijvoorbeeld juist na een periode van inundatie, snel kunnen groeien en tot bloei kunnen komen. Groei van deze soorten kan ten koste gaan van andere, minder efficiënt voedingsstoffen opnemende of lager wordende plantensoorten, vooral door lichtconcurrentie. De lager blijvende plantensoorten sterven na kieming af, waardoor vestiging wordt verhinderd. Slechts enkele soorten zijn in staat ook onder beschaduwde omstandigheden te overleven of in de hoger opgaande soorten te klimmen (bijvoorbeeld windende planten als Haagwinde (*Calystegia sepium*) of wikke-soorten (*Vicia spec.*).

Is de groeisnelheid van natuurlijke vegetatie in het begin van het seizoen relatief hoog, in de bloeiperiode en daarna treedt een zeker evenwicht in. De planten spenderen hun energie aan zaadzetting. Verdere groei hoeft vanaf het bloeistadium dan ook niet te worden verwacht. Wel kan na maaien een zekere hergroei (en uiteindelijk zelfs een tweede bloei) plaatsvinden. De mate waarin dat gebeurt, verschilt per soort en is afhankelijk van de mate van voedselrijkdom van de bodem, van de input van voedingsstoffen in het inspoelende regenwater en van het tijdstip waarop wordt gemaaid.

Aangezien de groeisnelheid mede afhankelijk is van de beschikbare hoeveelheid licht, kan beschaduwing door bijvoorbeeld bomen niet alleen leiden tot een toename van de hoeveelheid organische stof (bladval), maar ook tot een zekere beperking van de groeisnelheid. Vooral voor planten die van nature op open, dus zonnige standplaatsen staan, kan dit leiden tot sub-optimale omstandigheden.

### 4.3 De betreding remmende werking van wadi-vegetaties

Het is gewenst betreding van een wadi zo veel mogelijk te voorkomen in verband met het dichtlopen van de infiltratievoorziening en daarmee het verminderen van de infiltrerende werking. Hoger opgaande vegetatie zal in het algemeen minder uitnodigen tot betreding dan laag blijvende vegetatie.

#### 4.3.1 De betreding remmende werking van bestaande vegetatie

De in de wadi toegepaste gazonmengsels nodigen uit tot betreding (voetballen!). De laag blijvende vegetatie en de (geringe) hoogteverschillen nodigen spelende kinderen uit om erin te spelen. Hetzelfde geldt voor het uitlaten van honden (zie ook paragraaf *beheer*).

#### *4.3.2 De betreding remmende werking van meer natuurlijke vegetatie*

Een meer natuurlijke en daardoor hoger opgaande vegetatie nodigt in mindere mate uit tot betreding. Doordat de wadi deel uitmaakt van dicht bebouwd gebied, valt enig gebruik echter niet te voorkomen. Men mag verwachten dat daardoor geleidelijk enkele looppaadjes zullen ontstaan. Dit hoeft geen bezwaar te zijn, wanneer het 'medegebruik' van de wadi tot die paadjes en mogelijk enkele gazondelen beperkt blijft.

Het dichtlopen van de infiltratievoorziening is niet erg waarschijnlijk, zolang het althans niet mogelijk is met auto's de wadi in te rijden.

### **4.4 De gevoeligheid van wadi-vegetaties voor ziekten en plagen**

In het gemeentelijke groenbeheer gaat de voorkeur vaak uit naar toepassing van plantensoorten die van nature op de te beplanten locatie groeien, dus veelal wilde of uit de nabije omgeving afkomstige soorten. De reden daarvan is onder meer dat van deze soorten mag worden verwacht dat ze ook op de te beplanten locatie goed zullen aanslaan en tegelijkertijd minder gevoelig zijn voor ziekten en plagen. Bescherming van de geplante soorten met bestrijdingsmiddelen is bij zulke soorten dus minder snel noodzakelijk.

#### *4.4.1 De gevoeligheid van bestaande vegetatie*

De bestaande vegetatie in een wadi is in het algemeen goed bestand tegen ziekten en plagen.

#### *4.4.2 De gevoeligheid van meer natuurlijke vegetatie*

Wanneer men kiest om de van nature op de standplaats groeiende plantensoorten ook in een wadi toe te passen, dan mag men een grote bestendigheid tegen ziekten en plagen verwachten. Het gebruik van bestrijdingsmiddelen zal onder normale omstandigheden niet nodig zijn. Men moet daarbij wel bedenken dat langdurige droogte gebrekverschijnselen kan veroorzaken, vooral bij soorten van vochtige omstandigheden. Er kan bladverkleuring ontstaan, en in ernstige gevallen bladval. Ook kan droogte ertoe leiden dat de gevoeligheid voor plagen toeneemt. Dit is tot op zekere hoogte een natuurlijk verschijnsel en hoeft geen reden te zijn voor het gebruik van bestrijdingsmiddelen. In een vochtiger jaar treden zulke verschijnselen (veel) minder vaak op.

### **4.5 De belevingswaarde van wadi-vegetaties**

De belevingswaarde van wadi-vegetatie wordt voornamelijk bepaald door de soortkeuze en de vorm van de vegetatie. Een kleurrijke vegetatie tijdens een zo groot mogelijk deel van het jaar geldt als aantrekkelijk en zal dus de interesse wekken van de stadsbewoners. Als daarbij uitleg wordt gegeven over de werking van de wadi en over de keuze van de toegepaste plantensoorten (bijvoorbeeld in de vorm van een folder), kan dit tot veel waardering van bewoners leiden. Voorwaarde voor het continueren van die waardering is wel dat er regelmatig beheer plaatsvindt. Het achterwege blijven van beheer leidt relatief snel tot verruiging en een (visueel) minder aantrekkelijk element, en daarmee tot verwaarlozing. Mensen laten er hun hond uit, ze gaan er hun afval dumpen, etc. Dit kan leiden tot een omslag in waardering van de omwonenden. Uit de praktijk blijkt dat het vervolgens geruime tijd kan duren voordat daarna opnieuw positieve geluiden te horen zijn.

#### *4.5.1 De belevingswaarde van bestaande vegetatie*

De momenteel in wadi's toegepaste grasmengsels hebben geen bijzondere belevingswaarde. Wel kunnen bewoners een wadi, zeker wanneer deze van relatief forse afmetingen is, ervaren als een open element, hetgeen vooral in stedelijk gebied als bijzonder aangemerkt kan worden.

#### *4.5.2 De belevingswaarde van meer natuurlijke vegetatie*

Het toepassen van een meer natuurlijke vegetatie in een wadi leidt tot toename van de belevingswaarde. Reden daarvoor is dat de toegepaste plantensoorten doorgaans vrij opvallend bloeien. Daardoor ontstaat de indruk van een 'bloemrijk lint door de stad'. In de bloeiperiode

kan dit lint een grote aantrekkingskracht uitoefenen op allerlei soorten insecten (o.a. dagvlinders en bijen), hetgeen de aantrekkelijkheid verder vergroot. Enige achtergrondgegevens over de uiterlijke kenmerken van plantensoorten die in wadi's kunnen worden toegepast, zijn te vinden in bijlage 1.

## 4.6 Het beheer van wadi-vegetaties

Voor het behoud van de werking van wadi's en van de soortenrijkdom van de wadi-vegetatie, is regelmatig beheer noodzakelijk. In gazons zal het achterwege laten of minder frequent maaien leiden tot een hoger opgaande, maar soortenarme graslandvegetatie. Dit geeft snel een onverzorgde indruk. Hetzelfde geldt voor een wadi waarin een meer natuurlijke vegetatie wordt toegepast. Het achterwege blijven van beheer en het laten liggen van maaisel leiden tot een ongewenste verrijking van het systeem. Van die verrijking kunnen vooral enkele plantensoorten profiteren, terwijl andere soorten worden weggeconcurrerd. Een soortenarme vegetatie, bestaande uit bijvoorbeeld Fluitenkruid (*Anthriscus sylvestris*), Gewone berenklauw (*Heracleum sphondylium*) en Grote brandnetel (*Urtica dioica*) is het gevolg. Bladval van bomen met slecht verteerbare bladen (bijvoorbeeld het blad van beuken en in mindere mate eiken) heeft een vergelijkbaar effect. Zulke bladeren kunnen het functioneren van het infiltratiesysteem belemmeren en moeten worden verwijderd. Hierbij volstaat één maal per jaar.

### 4.6.1 Het beheer van bestaande vegetatie

De in wadi's toegepaste gazons worden in de praktijk intensief gemaaid. Gemiddeld wordt in het groeiseizoen ten minste eens per twee weken gemaaid; een maaifrequentie van 20 maal per jaar of meer is geen uitzondering. Het maaisel blijft doorgaans achter in het gazon. Het verrot geleidelijk en wordt ten slotte opnieuw opgenomen door de vegetatie. Netto-afvoer van voedingsstoffen heeft in die situatie dus niet plaats.

#### *Honden*

De hoeveelheid honden in stedelijke gebieden is (zeer) groot. Voor het uitlaten van honden zijn vooral (groen)elementen aantrekkelijk waar hond en baas prettig kunnen wandelen. In stedelijk gebied aangelegde wadi's kunnen dan ook dienen als geleidebaan voor het uitlaten van honden. Het gevolg daarvan kan zijn: ongewenste input van voedingsstoffen uit uitwerpselen, en daarmee verontreiniging van de wadi. De extra input kan leiden tot een toename van stikstofminnende plantensoorten, zoals Grote brandnetel, Ridderzuring (*Rumex obtusifolius*) en Gewone smeewortel (*Symphytum officinale*). Het kan tevens leiden tot een verminderde afname van de door afspoelend regenwater aangevoerde voedingsstoffen.

### 4.6.2 Het beheer van meer natuurlijke vegetatie

Het ideale beheer van een wadi met een meer gevarieerde vegetatie bestaat uit het twee maal per jaar maaien van de vegetatie, waarna men het maaisel verwijdert. Het maaisel dient bij voorkeur enkele dagen na te rijpen, wat de verspreiding van zaden bevordert. Daarna wordt het afgeharkt en afgevoerd. Het maaien kan het beste gebeuren in de tweede helft van juni/eerste helft van juli respectievelijk de tweede helft van augustus/eerste helft van september.

Het bovengenoemde maaibeheer (twee maal per jaar maaien en afvoeren) leidt tot de snelste afname van de biomassaproductie, doordat relatief veel nutriënten worden afgevoerd. Een dergelijk beheer op dijken voorkomt ook dat ongewenste soorten als Grote Brandnetel (*Urtica dioica*) en Akkerdistel (*Cirsium arvense*) massaal kunnen optreden [Liebrand, 1993]. Er moet overigens rekening mee worden gehouden dat het verkopen van het maaisel als veevoer vaak niet mogelijk zal zijn en dat het composteren soms niet zal worden toegestaan. Dit in verband met relatief hoge concentraties van verontreinigingen (zie ook paragraaf 3.4).

## Honden

Ook in een natuurlijker wadi zijn honden een aandachtspunt. Net als bij bestaande wadi's zou de invloed van honden zo veel mogelijk moeten worden beperkt. Een combinatie van voorlichting (folders), aangeboden alternatieven (hondenuitlaatplaatsen, plastic zakjes) en goede controle (verbod op loslopende honden in een wadi) kan dit bewerkstelligen.

### 4.6.3 Vergelijking van de kosten van bestaand en natuurvriendelijker beheer

Zowel voor de bestaande situatie als voor een meer natuurvriendelijk alternatief zijn de kosten van onderhoud en beheer ingeschat. Tabel 4.1 geeft een schematisch overzicht. Een specificatie van de kosten is opgenomen in bijlage 5.

**Tabel 4.1** kosten van het bestaande en een meer natuurvriendelijk beheer van wadi's

Activiteit	Geraamd bestaande situatie				Geraamd natuurvriendelijke situatie <sup>6</sup>			
	kosten [€/100m <sup>2</sup> /jr]	Frequentie [per jaar]	tijdnorm [min/eenheid]	bijzonderheden	kosten [€/100m <sup>2</sup> /jr]	Frequentie [per jaar]	tijdnorm [min/eenheid]	bijzonderheden
Maaien	22	26	1.7	2 assig	3	2	3	2 assig
Bijmaaien	1	2	0.9	Bosmaaier	1	2	0.9	bosmaaier
<b>Totaal</b>	<b>23</b>	-	-	-	<b>4</b>	-	-	-
Composteren	Nee	-	-	-	€ 0,90	2	-	-
Afvoer (incl. composteren)	Nee	-	-	-	€ 2 – 3	2	-	-
Verbranden	Nee	-	-	-	€ 9	2	-	-
<b>Totaal</b>	<b>23</b>	-	-	-	<b>6 - 7<sup>7</sup></b>	-	-	-

## Toelichting

Kosten worden berekend door het vermenigvuldigen van de frequentie, de tijdnorm en het gemiddelde uurloon.

## 4.7 De landschappelijke inpassing van wadi's

Aan de omgeving van wadi's en de landschappelijke inpassing van wadi's in die omgeving wordt weinig aandacht besteed. Wadi's worden primair gezien als infiltratievoorzieningen, terwijl aan het systeem ook andere functies kunnen worden toegekend. Een goede landschappelijke inpassing kan een meerwaarde hebben voor de leefomgeving, met name in stedelijk gebied.

### 4.7.1 Landschappelijke inpassing van bestaande wadi's

De aanwezigheid van in het oog springende landschappelijke beplantingen, het plaatselijke reliëf en (cultuur-)historische aspecten worden bij het ontwerp van wadi's momenteel niet of nauwelijks meegenomen. Men kijkt slechts naar de mogelijkheden van infiltratie (en de hoeveelheid ruimte die daarvoor nodig is) en het stedenbouwkundig ontwerp.

### 4.7.2 Landschappelijke inpassing van meer natuurlijke wadi's

Bij het ontwerp (positioneren en inrichten) van wadi's dient nadrukkelijker gekeken te worden naar de (directe) omgeving, om wadi's zodoende beter in het landschap te kunnen inpassen. Kenmerken van het landelijke buitengebied zouden in het stedelijke gebied doorgetrokken

<sup>6</sup> Uitgaande van een (relatief grote) productie van 5 ton droge stof per hectare per maaibeurt

<sup>7</sup> Uitgaande van de mogelijkheid van compostering van maaisel



moeten worden, waardoor het beeld in de woonwijk gevarieerder en groener wordt. Als er sprake is van geaccidenteerd terrein, kan mogelijk gebruik gemaakt worden van dergelijke natuurlijke hoogteverschillen. In voorkomende gevallen kan het inschakelen van een landschapsarchitect een meerwaarde hebben.

#### **4.8 De werking van wadi's als ecologische verbindingzones**

Een ecologische verbindingzone is bedoeld om planten- en vooral dieren de gelegenheid te geven zich te verplaatsen tussen naburige natuurlijke gebieden. In stedelijk gebied zijn dat de relatief groene delen, zoals stadsparken. Als verbindingzone kunnen watergangen fungeren, maar bijvoorbeeld ook spoorbermen en wegbermen. Ook een wadi kan als verbindingzone fungeren. Voorwaarde daarvoor is uiteraard dat de wadi-vegetatie aansluit bij de vegetatie-eisen van de soorten die de wadi als verbindingzone gebruiken.

In stedelijk gebied zijn verbindingzones voornamelijk bedoeld voor kleine zoogdieren, amfibieën en insecten, zoals dagvlinders en sprinkhanen. De vegetatie dient voor deze soorten bloemrijk te zijn (dagvlinders). Ook moeten ze enige mate van dekking geven, dus relatief hoog opgaand moeten zijn.

##### *4.8.1 De werking van bestaande wadi's als ecologische verbindingzones*

De in wadi's toegepaste gazons zijn laagblijvend en arm aan bloeiende plantensoorten. De dekking die de vegetatie biedt, is nihil. Men mag er daarom van uitgaan dat de werking van de huidige wadi's als ecologische verbindingzone te verwaarlozen is.

##### *4.8.2 De werking van meer natuurlijke wadi's als ecologische verbindingzones*

Als er meer gevarieerde vegetatie wordt gebruikt, krijgen diergroepen wel dekking. De vegetatie kan daarom (mede) een functie vervullen als verbindingzone, mits deze uiteraard aansluit bij grotere groenelementen. De hoeveelheid bloeiende planten is afhankelijk van de gekozen plantensoorten. Een uitgekende soortkeuze kan ervoor zorgen dat de waarde van de vegetatie voor dagvlinders relatief hoog is. Samen met de in tuinen bloeiende planten kan de waarde voor vooral de relatief algemene soorten vlinders daarmee verder worden vergroot.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

Dit rapport vergelijkt de bestaande wadi's met tot dusverre denkbeeldige, meer natuurvriendelijk ingerichte infiltratievoorzieningen. Wadi's worden in stedelijk gebied inmiddels toegepast. Maar het ontwerp, de inrichting en het beheer zijn momenteel uitsluitend afgestemd op de werking als infiltratievoorziening. Wadi's kunnen naar onze mening ook belangrijke andere rollen spelen in het stedelijk gebied. Wanneer wordt gekozen voor een meer natuurlijke begroeiing en bijbehorend beheer zal de wadi niet alleen aantrekkelijker ogen, ook kan de werking als infiltratievoorziening (onder voorwaarden) worden verbeterd. Dit laatste wordt veroorzaakt door de beter doorwortelde bodem en de betere opname van verontreinigingen door de vegetatie.

In het rapport is ingegaan op een groot aantal aspecten waarmee bij de inrichting van een wadi idealiter rekening zou moeten of kunnen worden gehouden. De aspecten zijn thematisch gerangschikt. Achtereenvolgens is ingegaan op:

- Hydrologische aspecten. Behandeld zijn onder meer de wijze waarop de vegetatie is aangepast aan wisselende waterstanden, de effecten op de bergingscapaciteit van hoger wordende vegetatie en de effecten op de drainage in de doorwortelde zone.
- Ecotoxicologische aspecten. Hierbij is ingegaan op de verontreinigingen in afstromend regenwater en op de invloed van die verontreinigingen op de groei van planten. Omgekeerd is gekeken naar de mate waarin planten in staat zijn zulke verontreinigingen op te nemen.
- Ecologische aspecten. Behandeld is onder meer de soortkeuze, de gevoeligheid voor ziekten en plagen en de mogelijke werking van een wadi als ecologische verbindingzone.

Per aspect is de bestaande situatie geschetst en is een meer natuurvriendelijk alternatief voorgesteld. Opvallend is dat een meer natuurvriendelijk alternatief voor bijna alle aspecten als ten minste even gunstig wordt beoordeeld en in veel gevallen zelfs als te prefereren boven de bestaande wijze van inrichting en beheer. De meerwaarde is vaak op eenvoudige wijze, soms zelfs kostenbesparend, te realiseren. De resultaten van de beoordeling per aspect zijn weergegeven in tabel 5.1.

**Tabel 5.1** Samenvatting van eigenschappen van een wadi in de huidige en de voorgestelde (natuurvriendelijke) situatie

Eigenschap/Ontwerpeis	Huidige situatie	Voorgestelde situatie
<i>Hydrologische aspecten</i>		
Aanpassingsvermogen aan wisselende waterstanden	+	++ tot +++
Betredingsbestendigheid	++ tot +++	+
Effect op bergingscapaciteit	+++	+++
Drainerende werking	+	++ tot +++
<i>Ecotoxicologische aspecten</i>		
Effecten op de groeisnelheid door toxische stoffen	+	++
Opname van toxische stoffen	- tot 0	+ tot ++
Compostering van maaisel	n.v.t.	- tot +++
<i>Ecologische aspecten</i>		
Soortenrijkdom	--	++
Inundatiebestendigheid	-	+
Droogtebestendigheid	++	++
Groeisnelheid	+++	++
Betreding remmend	-	++
Bestendigheid tegen plagen	++ tot +++	+ tot +++
Toxiciteit	+++	++ tot +++
Belevingswaarde	0	++ tot +++
Beheer	++	++
Werking als ecologische verbindingzone	-	+ tot ++

*Toelichting:*

- +++ *voldoet zeer goed*
- ++ *voldoet goed*
- + *voldoet redelijk*
- 0 *voldoet matig*
- *voldoet slecht*
- *voldoet zeer slecht*

Uit het bovenstaande volgt dat men vier soorten waarden kan onderscheiden bij een wadi:

- de gebruikswaarde (geschiktheid voor andere functies dan alleen infiltratie);
- de technische waarde (efficiëntie van infiltratie);
- de belevingswaarde (vormgeving, uiterlijke kenmerken);
- de ecologische waarde (soortkeuze, ecologische verbinding, natuurwaarde).

Aangezien een wadi primair wordt gerealiseerd als infiltratievoorziening, moet een wadi minimaal voldoen aan de gestelde technische en stedenbouwkundige eisen. Als er behoefte aan is kan de waarde van de wadi voor de omgeving worden vergroot door tevens aandacht te schenken aan andere zaken, met name aan de beleving en de ecologie.

## **5.1 Aanbevelingen**

Uit het rapport blijkt dat een natuurvriendelijk ingerichte wadi weliswaar veelbelovend is, maar voorsnog ook fictief. De mogelijkheden die hiervoor in dit rapport uiteen worden gezet, zijn vooral gebaseerd op kennis van het gedrag van planten in meer natuurlijke situaties. Wanneer men tot praktijkproeven overgaat, verdient het dan ook aanbeveling de effectiviteit en het verbeterd functioneren van een natuurvriendelijk ingerichte wadi intensief te monitoren. Daarbij zou rekening gehouden moeten worden met de soms grote verschillen tussen onderzoeksjaren (zoals grote verschillen in neerslaghoeveelheden) en tussen de locaties van wadi's onderling. Het betreft daarom bij voorkeur een meerjarig onderzoek aan de hand van de vier hierboven genoemde waarden.

Het is ook wenselijk meer informatie te verzamelen over de eigenschappen van een meer natuurvriendelijk ingerichte wadi. Met name is informatie gewenst over:

- de toegepaste plantensoorten en de wijze waarop deze zich weten te handhaven;
- de effectiviteit van de wadi (voor zover relevant) met betrekking tot waterberging en doorlatendheid, de opname en het gedrag van toxische stoffen (phytoremediatie kan door middel van laboratoriumproeven worden onderzocht);
- de werking van wadi's als ecologische verbindingzones;
- het beheer (intensiteit, kosten);
- de reacties van bewoners (belevingswaarde door middel van enquête).

## Literatuur

- [Advanta-Van der Have, 1999]  
Groenvoedergids 1999, Handleiding bij de rassenkeuze maïs en mengselkeuze grasland.
- [Aleva, J.F., 1973]  
De invloed van recreatie op vegetatie en milieu van Kootwijk en omstreken. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum, afdeling Botanica.
- [Bahlo, K. en G. Wach, 1995].  
Naturnahe Abwasserreinigung. Planung und Bau von Pflanzenkläranlagen. Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg. ISBN 3-922964-52-4.
- [Boogaard, F.C en P. Bode, 2000]  
Bewoners in Enschede waarden wadi's. In: H<sub>2</sub>O, nr 3, 2000
- [Boogaard, F.C. en R. Wentink, 2001]  
Monitoringsresultaten wadi-systeem Enschede. In: Het waterschap 2001/23/24.
- [Commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw, 2000]  
Advies waterbeleid in de 21<sup>e</sup> eeuw. Commissie Tielrooy. Den Haag.
- [Van den Ham, M.H.A. en R.H.M. Peltzer, 1995].  
Dosis-effect-relatieonderzoek en ecologische verbindingzones. Evaluatie van het dosis-effectonderzoek en onderzoek naar de mogelijkheden voor recreatie én natuur binnen de ecologische verbindingzones van de hogere zandgronden. IBN-rapport 169; ISSN 0928-6888.
- [Hesteren, S. van, M.A. van de Leemkule en M.A. Pruiksma, 1998].  
Minimale bodemkwaliteit: een gebruikgerichte benadering vanuit de ecologie. Deel 1: metalen. Technische Commissie Bodembescherming (TCB), i.s.m. WEB Natuurontwikkeling.
- [IMAG-DLO, 1996]  
Tijdnormen voor groenvoorzieningen bos en buitensportaccommodaties. CNG in samenwerking met IMAG-DLO.
- [Ingenieursbureau Utrecht, 1997]  
Kwaliteit Afstromend hemelwater en de mogelijkheid tot afkoppelen in de VINEX-locatie Leidsche Rijn.
- [Landberg, T. en M. Greger, 1996]  
Differences in uptake and tolerance to heavy metals in Salix from unpolluted and polluted areas. In: Applied Geochemistry 11:175-180.
- [Van Leeuwen, C.J. en J.L.M. Hermens, 19\*\*]  
Risk assessment of chemicals: an introduction. Kluwer Academic Publishers. Paragraaf 3.3.5 (Accumulation in terrestrial plants).
- [Léon, C.D., 1993]  
Kwaliteit van en herstelparameters voor chemisch belaste ecosystemen. IBN-rapport 010. ISSN: 0928-6888.
- [Liebrand, C.I.J.M., 1993]  
Vegetatie-ontwikkeling op verzwaarde rivierdijken. Effecten van natuurtechnische maatregelen bij verzwaaring van rivierdijken, 4 jaar na aanleg. Fase 1: 1987-1990. Vakgroep Plantenecologie en Bodembioecologie, Landbouwniversiteit Wageningen.
- [Lokhorst, D.A., 1997].  
Ecologische risicobeoordeling in natuurgebieden. Toepassing van bodembeoordeling bij sanering van verontreinigingen in natuur(ontwikkelings)gebieden. Rapport Landbouwniversiteit Wageningen en Tauw Milieu bv.

[Ter Meulen-Smidt, G.R.B., T.P. Traas, J. Kros, J. Bril, H. Baveco, H. Siepel en J.H. Faber, 1997].  
Gedrag van zware metalen en nutriënten bij natuurontwikkeling in het Beerze-Reusel stroomgebied: een  
probleemverkenning. Rapport SC-DLO, AB-DLO, IBN-DLO en RIVM, rapportnummer 711401002.

[Perttu, K.L. en P.J. Kowalik, 1997]  
*Salix* vegetation filters for purification of waters and soils. In: Biomass and Bioenergy 12(1): 9-19.

[Rønde Nissen, L. en Lepp, N.W., 1997]  
Baseline concentrations of copper and zinc in shoot tissues of a range of *Salix*-species. In: Biomass and  
Bioenergy 12-2:115-120.

[Runhaar, J., C.L.G. Groen, R. van der Meijden en R.A.M. Stevers, 1987]  
Een nieuwe indeling van plantesoorten in ecologische soortengroepen binnen de Nederlandse flora. In:  
Gorteria 13: 276-359.

[RUU, 19\*\*].  
Ecofysiology. Collegedictaat. Department of plant ecology & evolutionary biology.

[RIVM, 1999]  
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu], Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling, Meet  
resultaten 1995-1998, Bilthoven,

[Tauw, 1999-a]  
Praktijkproef infiltratie Zwolle-zuid, Deelrapport I t/m IV, Deventer.

[Tauw, 1999-b]  
Effecten van infiltratie in de bodem. Een onderzoek naar de kwalitatieve aspecten van infiltratie in de  
bodem, Deventer.

[De Vrieze, M.H., 1973]  
Invloed van recreatie op de vegetatie van de Ginkelse heide. Landbouwhogeschool, afdeling  
Natuurbeheer en Natuurbehoud, i.s.m. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, afdeling Botanie, Leersum.

[Van der Wal, J.J., 1981]  
De invloed van recreatie op de vegetatie van Voornes Duin.

[Wentink, R. en F.C. Boogaard, 2000]  
Eerste meetjaar in Enschede afgerond, wadi's lijken goed te functioneren. In: H<sub>2</sub>O nr. 16, 2000

## **Bijlage 1**

### **Plantensoorten en eigenschappen voor toepassing in wadi's**

Wetenschappelijke naam	Nederlandse naam	Hoogte (cm)	Bloemkleur	Maximale worteldiepte (cm)	Bloeitijd	Wijze van bestuiving
Ajuga reptans	Kruipend zenegroen	7 – 30	paars of blauw	10 – 20	4 – 6	vl.
Alisma plantago-aquatica	Grote waterweegbree	30 – 170	wit	-	6 – herfst	kevers
Alnus glutinosa	Zwarte els	300 – 2400	ontbrekend/klein	-	2 – 3	wind
Angelica sylvestris	Gewone engelwortel	90 – 180	wit of roodachtig	10 – 100	7 – herfst	insecten
Berula erecta	Kleine watereppe	30 – 60	wit	-	7 – 9	insecten
Butomus umbellatus	Zwanebloem	30 – 150	rose	-	6 – 9	insecten
Cardamine pratensis	Pinksterbloem	15 – 50	lila	10 – 20	4 – 6	insecten
Centaurea jacea	Knoopkruid	10 – 120	paarsrood	10 – 100	6 – herfst	insecten
Chamerion angustifolium	Wilgeroosje	30 – 150	rose	-	7 – 9	vl.
Eupatorium cannabinum	Koninginnekruid	50 – 150	rose	-	7 – 9	insecten
Filipendula ulmaria	Moerasspirea	60 – 120	wit	50 – 100	6 – 8	insecten
Galium palustre	Moeraswalstro	5 – 50	wit	0 – 20	5 – 9	kevers
Lathyrus pratensis	Veldlathyrus	30 – 120	geel	50 – 100	6 – 8	vl.
Lotus uliginosus	Moerasrolklaver	30 – 100	geel	0 – 20	6 – 8	vl.
Lysimachia nummularia	Penningkruid	10 – 60	geel	0 – 10	6 – 8	kevers
Lythrum salicaria	Grote kattedaart	60 – 120	paarsrood	50 – 100	6 – 9	insecten
Mentha aquatica	Watermunt	30 – 90	rose	-	7 – herfst	insecten
Myosotis palustris	Moerasvergeet-mij-nietje	15 – 45	lichtblauw	0 – 20	5 – 8	insecten
Phragmites australis	Riet	100 – 300	ontbrekend/klein	> 50	7 – 10	wind
Ranunculus flammula	Egelboterbloem	10 – 45	geel	10 – 20	6 – 10	insecten
Salix alba	Schietwilg	600 – 2000	ontbrekend/klein	-	4 – 5	insecten
Salix cinerea	Grauwe wilg	200 – 600	ontbrekend/klein	-	3 – 4	insecten
Salix triandra	Amandelwilg	150 – 400	ontbrekend/klein	-	4 – 5	insecten
Salix viminalis	Katwilg	150 – 400	ontbrekend/klein	-	3 – 4	insecten
Sambucus nigra	Gewone vlier	300 – 600	wit	-	6 – 7	insecten
Scirpus lacustris subsp. lacustris	Mattenbies s.s.	75 – 350	ontbrekend/klein	-	6 – 8	-
Scutellaria galericulata	Blauw glidkruid	15 – 45	paars of blauw	0 – 10	6 – 9	kevers
Sparganium erectum	Grote egelskop s.l.	30 – 100	ontbrekend/klein	-	6 – 9	wind
Stellaria graminea	Grasmuur	10 – 90	wit	10 – 20	5 – 7	insecten
Stellaria palustris	Zeegroene muur	10 – 60	wit	-	5 – 8	-
Thalictrum flavum	Poelruit	45 – 90	geelachtig wit	10 – 100	6 – 7	vlieg/mug
Typha angustifolia	Kleine lisdodde	100 – 300	ontbrekend/klein	-	6 – 8	wind
Typha latifolia	Grote lisdodde	100 – 250	ontbrekend/klein	-	6 – 7	wind
Valeriana officinalis	Echte valeriaan	60 – 120	rose	10 – 20	6 – 7	insecten
Veronica beccabunga	Beekpunge	15 – 60	blauw	-	5 – 9	vlieg/mug
Veronica chamaedrys	Gewone ereprijs	10 – 40	blauw	10 - 20	4 – 6	vlieg/mug

### ***Toelichting***

*vl.: vliesvleugeligen*

## **Bijlage 2**

### **Gegevens over de standplaatsen van de genoemde plantensoorten**

In deze bijlage zijn enkele achtergrondgegevens opgenomen over de standplaatsseisen van de in de tekst genoemde plantensoorten. De gegevens zijn afgeleid uit de indeling van plantensoorten in ecotootypen [Runhaar et al., 1987].

De gegevens uit deze bijlage kunnen worden gebruikt als handreiking voor een optimale soortensamenstelling van de vegetatie op een bepaalde plaats. Zo zou op zandgrond bij voorkeur moeten worden gewerkt met soorten van vochtige tot droge omstandigheden. Op veengrond liggen soorten van natte omstandigheden meer voor de hand. Afhankelijk van de wijze waarop de toplaag van de bodem is afgewerkt, kan daarnaast worden gekozen voor soorten van relatief voedselrijke standplaatsen, of juist voor soorten van voedselarme standplaatsen.



Wetenschappelijke naam	Nederlandse naam	Vochtigheid	Zuurgraad	Voedselrijkdom	Zoutgehalte
Ajuga reptans	Kruipend zenegroen	vochtig	niet zuur	voedselarm tot –rijk	zoet
Alisma plantago-aquatica	Grote waterweegbree	aquatisch	indifferent	(zeer) voedselrijk	zoet tot zwak brak
Alnus glutinosa	Zwarte els	nat tot vochtig	zwak zuur	voedselarm tot zeer –rijk	zoet
Angelica sylvestris	Gewone engelwortel	nat tot vochtig	indifferent	voedselrijk	zoet
Berula erecta	Kleine watereppe	aquatisch tot nat	indifferent	(zeer) voedselrijk	zoet tot zwak brak
Butomus umbellatus	Zwanebloem	aquatisch	indifferent	(zeer) voedselrijk	zoet tot zwak brak
Cardamine pratensis	Pinksterbloem	nat tot vochtig	indifferent	(zeer) voedselrijk	zoet
Centaurea jacea	Knoopkruid	vochtig	zwak tot niet zuur	voedselarm tot –rijk	zoet
Chamerion angustifolium	Wilgeroosje	vochtig tot droog	zwak zuur	voedselarm tot –rijk	zoet
Eupatorium cannabinum	Koninginnekruid	nat tot vochtig	indifferent	voedselrijk	zoet tot zwak brak
Filipendula ulmaria	Moerasspirea	nat	indifferent	voedselrijk	zoet
Galium palustre	Moeraswalstro	nat	zwak zuur	voedselarm tot zeer –rijk	zoet tot zwak brak
Lathyrus pratensis	Veldlathyrus	vochtig	indifferent	voedselrijk	zoet
Lotus uliginosus	Moerasrolklaver	nat	indifferent	voedselrijk	zoet
Lysimachia nummularia	Penningkruid	nat tot vochtig	indifferent	voedselrijk	zoet
Lythrum salicaria	Grote kattestaart	aquatisch tot nat	indifferent	(zeer) voedselrijk	zoet
Mentha aquatica	Watermunt	aquatisch tot nat	niet zuur	voedselarm tot –rijk	zoet tot zwak brak
Myosotis palustris	Moerasvergeet-mij-nietje	nat	indifferent	zeer voedselrijk	zoet tot zwak brak
Phragmites australis	Riet	aquatisch tot vochtig	indifferent	(zeer) voedselrijk	zoet tot brak
Ranunculus flammula	Egelboterbloem	nat	zwak tot niet zuur	voedselarm tot –rijk	zoet
Salix alba	Schietwilg	nat tot vochtig	indifferent	(zeer) voedselrijk	zoet
Salix cinerea	Grauwe wilg	nat	zwak zuur	voedselarm tot –rijk	zoet
Salix triandra	Amandelwilg	nat tot vochtig	indifferent	zeer voedselrijk	zoet
Salix viminalis	Katwilg	nat tot vochtig	indifferent	(zeer) voedselrijk	zoet
Sambucus nigra	Gewone vlier	vochtig tot droog	indifferent	(zeer) voedselrijk	zoet
Scirpus lacustris subsp. Lacustris	Mattenbies s.s.	aquatisch	indifferent	zeer voedselrijk	zoet tot zwak brak
Scutellaria galericulata	Blauw glidkruid	nat	indifferent	voedselrijk	zoet
Sparganium erectum	Grote egelskop s.l.	aquatisch	indifferent	(zeer) voedselrijk	zoet
Stellaria graminea	Grasmuur	vochtig tot droog	indifferent	voedselrijk	zoet
Stellaria palustris	Zeegroene muur	nat	indifferent	voedselrijk	zoet
Thalictrum flavum	Poelruit	nat	indifferent	voedselrijk	zoet
Typha angustifolia	Kleine lisdodde	aquatisch tot nat	indifferent	(zeer) voedselrijk	zoet tot zwak brak
Typha latifolia	Grote lisdodde	aquatisch tot nat	indifferent	zeer voedselrijk	zoet tot brak
Valeriana officinalis	Echte valeriaan	nat	indifferent	(zeer) voedselrijk	zoet
Veronica beccabunga	Beekpunge	nat	indifferent	(zeer) voedselrijk	zoet
Veronica chamaedrys	Gewone ereprijs	vochtig	indifferent	voedselrijk	zoet

### **Toelichting**

*Indifferent: betreffende factor is niet relevant*

## Bijlage 3

### Programma van eisen en wensen

#### Inleiding

In deze bijlage wordt de wadi beschouwd vanuit een groot aantal aspecten. Per aspect wordt beschreven aan welke eisen een wadi idealiter zou moeten voldoen. De aspecten zijn ingedeeld in de volgende categorieën:

- veiligheid: verdrinkingsgevaar, verspreiding van ziekten, calamiteiten;
- hydrologie: waterkwaliteit en -kwantiteit;
- bodem: bodemtype, bodemkwaliteit en doorlatendheid;
- groeicondities: gewenste vegetatie, de doorwortelbaarheid, de betredingsbestendigheid, de opname van verontreinigingen e.a.;
- ecologie: de werking als ecologische verbindingszone.

#### Veiligheid

##### Calamiteiten

De vegetatie in de wadi kan bij calamiteiten te maken krijgen met de aanvoer van bluswater. Dit wordt in een infiltratiegebied niet via de riolering afgevoerd en komt in de wadi terecht. Ook olie (van olie-lekkende auto's) en strooizout kunnen via het afstromend regenwater in de wadi terechtkomen. Het gebruik van pesticiden en autowassen is in een infiltratiewijk vaak verboden, maar wordt als gevolg van onwetendheid of opzet soms toch toegepast. De vegetatie zou hiertegen eveneens bestand moeten zijn.

##### Volksgezondheid

Omdat de wadi als speelplaats gebruikt kan worden, mag de vegetatie niet giftig zijn of ziekteverspreidende en/of giftige dieren aantrekken.

##### Veiligheid

Om het risico van verdrinking van kinderen in wadiwijken te verkleinen, kan wat betreft de vegetatiekeuze het volgende worden aangeraden:

- Goede beplanting van de taluds om gladde en modderige hellingen te vermijden. De kans hierop is overigens het grootst bij oevers van permanent waterdragende lichamen met plotselinge waterstandsverschillen en steile taluds. Dit is bij een wadi niet het geval.
- Bomen en struiken mogen hier en daar voorkomen. Door zo'n opgaande begroeiing mag het overzicht echter niet worden belemmerd.

#### Hydrologie

##### Waterstanden

De hydrologische omstandigheden hangen mede af van het ontwerp. Over het algemeen staat de wadi 85 procent van de tijd droog. De wadi is eens per 2 jaar voor 60 procent gevuld, 30 uur later is al het water geïnfiltreerd. De wadi is eens per 25 jaar voor 90 procent gevuld en zal dan na 35 uur weer droog staan. Dit kan oplopen tot 72 uur door dichtslibbing van de voorziening.

De waterstand varieert in principe van 0-30 cm water boven maaiveld. Als de waterstand hoger dan 30 cm is, treden de slokops in werking. De maximale waterstand is aanwezig op een strook met een gemiddelde breedte van 4 meter. Aan weerskanten van de breedte neemt de maximaal optredende waterstand af door het talud (circa 1:4), tot het maaiveld de hoogte van de intree van de slokop bereikt. Hierboven zal geen water staan.

### **Waterkwaliteit**

Het gewas wordt met name gevoed met afstromend regenwater (contact met grondwater kan minimaal zijn) dat van een andere samenstelling kan zijn dan het hemelwater. Bij afstroming worden er stoffen aan toegevoegd. Uit onderzoek bij infiltratievoorzieningen in Zwolle werd gevonden dat van de onderzochte stoffen er met name structureel hogere concentraties (tot circa 100 maal) aan zware metalen, arseen, chloride en sulfaat in het afstromend regenwater voorkomen. De groei van de vegetatie mag hier geen hinder van ondervinden.

## **Bodem**

### **Samenstelling**

Bij wadi's past men grondverbetering toe en er wordt vaak een humeuze toplaag aangebracht om de groei van de vegetatie te bevorderen. De samenstelling van de aan te brengen grond kan worden afgestemd op de keuze van de vegetatie. Zo kan de grondverbetering bestaan uit doorlatende en makkelijk doorwortelbare grond met gunstige capillaire waternalevering. Verder kan door de toevoeging van organische stof aan de grond de pakking van de grond losser worden. Hierdoor bewegen de wortels zich makkelijker door de bodem. Andere stoffen als kalk zouden kunnen worden toegevoegd (periodiek onderhoud) als de groei van de vegetatie hierdoor gestimuleerd wordt en de mobiliteit van zware metalen erdoor afneemt.

### **Kwaliteit**

De genoemde verontreinigingen in het afstromend regenwater kunnen leiden tot accumulatie van stoffen in de bodem. Onderzoek bij infiltratievoorzieningen en zakputten heeft uitgewezen dat deze verontreinigingen vooral in de laag van 50 cm onder maaiveld accumuleren en zich boven de streefwaarden bevinden. Stoffen als lood en zink komen vaak voor in concentraties die de streefwaarden overschrijden.

In de laag van 0-20 cm onder maaiveld overschrijden vooral zink, lood en koper, en incidenteel de andere zware metalen, arseen en PAK's de streefwaarden(10) . Tegen deze concentraties aan stoffen moeten de planten bestand zijn (bij voorkeur door opname en/of afbraak). In een wadi-wijk kunnen maatregelen worden getroffen om verontreinigingen terug te dringen.

### **Doorlatendheden**

Over het algemeen legt men infiltratievoorzieningen aan bij bodemdoorlatendheden groter dan 0.5 m/dag. Bij aanleg wordt vaak minimaal 1 m/dag aangehouden, zodat de doorlatendheid als gevolg van dichtslibbing tot 0.5 m/dag kan afnemen. Overigens vermelden doorlatendheidsmetingen (infiltratietests) in Enschede lagere Kd-waarden van 0.01 tot 0.3 meter per etmaal. Deze metingen zijn in verzadigde bodemtoestand bepaald en op locaties uitgevoerd waar sprake zou zijn van dichtslibbing.

## **Groeicondities**

### **Gewenste begroeiing**

De hydrologische en milieuhygiënische omstandigheden in en bij wadi's stellen eisen aan de vegetatie. De huidige toegepaste vegetatie bij wadi's is gras. Vaak is moeilijk te achterhalen welk grasmengsel men heeft gebruikt. Namen die genoemd worden zijn Railly en SV5 record. Deze mengsels heeft men vaak gekozen vanwege de betredingsbestendigheid (sportveldenmengsels) en de drainerende werking. Voor zover bekend worden alternatieve zaaimengsels of plantensoorten niet in wadi's toegepast. De vegetatie zou moeten gedijen bij wisselende waterstanden en tevens bestand moeten zijn tegen langdurig droogvallen van een wadi.

### **Groeisnelheid**

Als de vegetatie net is ingezaaid is een snelle groei wenselijk, zodat erosie of dichtslibbing in dit stadium beperkt blijft. Na dit stadium is echter een langzame groei gewenst in verband met het

gewenste minimale onderhoud. De wadi in Ruwenbos wordt circa 20 keer per jaar gemaaid. Dit kan mogelijk worden teruggebracht door te kiezen voor andere vegetatie.

### **Doorworteling**

De wortels van de vegetatie houden de bodemstructuur van de wadi open, zodat dichtslibbing wordt beperkt. Door het toepassen van een meer gevarieerde vegetatie kan de bodem wellicht beter worden doorworteld. Hierdoor kan de infiltratiecapaciteit worden vergroot. Ook door activiteit van bodemfauna (bijvoorbeeld regenwormen, springstaarten en pissebedden) wordt de bodemstructuur open gehouden, zodat de infiltratiecapaciteit in stand wordt gehouden.

### **Betreding**

Onnodige betreding of berijding van de wadi met maaimachines is niet wenselijk. Dit leidt tot verdichting van de structuur van de bovengrond. Het beïnvloedt het biologisch leven alsmede de lucht- en waterhuishouding in negatieve zin. Bovendien kunnen kinderen de wadi als speelplaats gebruiken met attributen als crossfietsen en skelters. De vegetatie moet dus tegen (enige mate van) berijding en betreding bestand zijn.

### **Bestrijdingsmiddelen**

Het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen leidt in veel gevallen tot vermindering van het bodemleven, waardoor de infiltratiecapaciteit van de bodem kan afnemen. In woonwijken waar infiltratie wordt toegepast, is het gebruik van bestrijdingsmiddelen vaak verboden. De vegetatie moet van nature bestand zijn tegen de schadelijke invloed van insecten, wormen, onkruid, schimmels en knaagdieren.

### **Bemesting**

Bij voorkeur moet de vegetatie zonder of slechts met minimale toevoeging van meststoffen kunnen functioneren.

### **Talud**

De vegetatie moet op een talud kunnen gedijen. Hier is doorgaans sprake van relatief droge omstandigheden als gevolg van oppervlakkige afstroming van regenwater. De vegetatie moet daarom bestand zijn tegen periodiek droge én periodiek vochtige tot natte omstandigheden.

### **Opname verontreiniging**

Er zijn gewassen die verontreinigingen opnemen. Dit zou een wenselijke bijkomstigheid zijn ten aanzien van de al eerder genoemde accumulatie van verontreinigingen in de toplaag van wadi's. De nadruk zal liggen op zware metalen als lood, zink en koper, omdat deze stoffen vaak worden aangetroffen in concentraties die de interventiewaarden (en regelmatig de streefwaarde) overschrijden. Er kan mogelijk vermindering optreden van de functionele eigenschappen die de bodem heeft voor mens, plant of dier. Opname van deze stoffen of bevordering van afbraak (PAK's) door vegetatie zou daarom wenselijk zijn. De opslag van verontreiniging zou bij voorkeur bovengronds moeten plaatsvinden, zodat de verontreinigingen met het maaien kunnen worden afgevoerd.

## **Ecologie**

### **Ecologische verbindingszone**

Aan een wadi kunnen functies worden toegekend die mens en dier ten goede komen. Een wadi kan als biotoop of verbindingszone fungeren voor verschillende diersoorten. De vegetatie alsmede het beheer en de inrichting van de wadi kunnen hierop worden aangepast.

### **Belevingswaarde**

De beleving van water en natuur in het stedelijk gebied verschaft een meerwaarde aan de bewoners. De esthetica kan bij de keuze voor het gewas een rol spelen.

### Samenvatting van eisen en wensen met betrekking tot wadi's

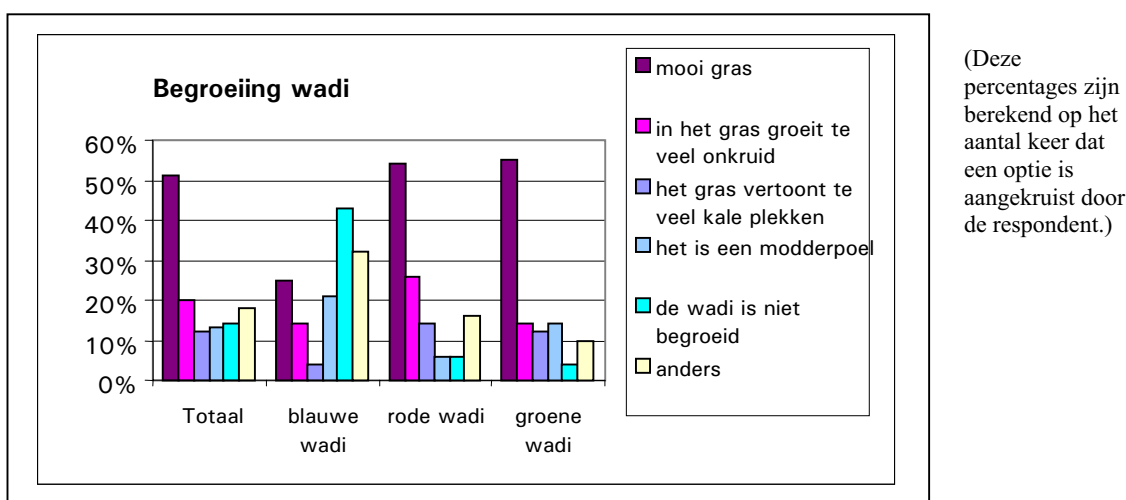
Aspect	
<b>Eisen</b>	
Minimale waterstand	Droog gedurende 85 procent van het jaar.
Maximale waterstand	30 cm gedurende 35 uur, dit kan oplopen tot 72 uur. Deze waterstand en tijdsduur zal volgens het ontwerp eens per 25 jaar optreden.
Doorlatendheid ondergrond	>0.5 m/dag, toplaag kan plaatselijk dichtslibben.
Kwaliteit	Het afstromend regenwater kan ten opzichte van het hemelwater verhoogde concentraties (tot circa 100 maal) bevatten van zware metalen, arseen, chloride en sulfaat. Er kan een verhoging van stoffen in de bodem optreden. Verhoging zit voornamelijk 50 cm onder maaiveld. Streefwaarde overschrijdende stoffen die worden aangetroffen bij infiltratievoorzieningen in de bodem en de laag 0-20 cm onder maaiveld zijn met name zink, lood en koper, incidenteel de andere zware metalen en arseen en PAK (10). Tegen deze stoffen moet de vegetatie bestand zijn (bij voorkeur opname).
Onderhoud	Bij voorkeur zo min mogelijk maaien, dus geen snelle groei. Wel is snelle initiële groei gewenst vanwege erosiegevaar in de aanlegfase. Vegetatie moet bestand zijn tegen betreding en berijding van maaimachine.
Groeiconditie	Goede doorworteling behoudt infiltratiecapaciteit.
Calamiteiten	Vegetatie moet bestand zijn tegen bijvoorbeeld bluswater en incidenteel gebruik van bestrijdings- of wasmiddelen elders.
Pesticiden	Het gebruik van bestrijdingsmiddelen is verboden, dus de vegetatie moet van nature bestand zijn tegen ziekten en/of plagen.
Volksgezondheid	Geen giftige planten en evenmin aantrekking van ziekteverspreidende fauna.
<b>Wensen</b>	
Verbindingszone	Inrichting als verbindingszone voor verschillende diersoorten
Belevingswaarde	Verhoging van de belevingswaarde van natuur in het stedelijk gebied

## Bijlage 4

### Bewonersonderzoek: Ruwenbos te Enschede

In Ruwenbos is een enquête verspreid waarin onder andere de mening van de bewoners werd gevraagd over de begroeiing van de wadi's. In Ruwenbos zijn drie verschillende wadi's aangelegd: een blauwe (zaksloot), een groene en een rode wadi. Die laatste beschikken beide over een flauwer talud (zie foto's).

De wadi's worden door 51 procent van de respondenten gewaardeerd als mooie groene wadi's. Er wordt wel aangegeven dat er op een aantal plekken meer begroeiing mag komen, met name bij de blauwe wadi. Bij de groene wadi geeft 14 procent van de respondenten aan dat het een modderpoel is. In een aantal gevallen wordt hier een relatie gelegd met eventuele dichtslibbing van de wadi.



### Belevingswaarde

Ook is gevraagd naar de belevingswaarde in relatie met diverse factoren zoals flora en fauna, het wijkbeeld en dergelijke:

#### *Verbetering voor flora en fauna*

De wadi draagt volgens 76 procent van de responsgroep bij aan verbetering voor flora en fauna in de wijk, 9 procent vindt van niet en 15 procent heeft geen mening.

#### *Vermindering verdroging van de natuur*

Volgens 80 procent van de respondenten levert de wadi een positieve bijdrage aan de vermindering van de verdroging in de natuur, 12 procent denkt dat dit niet geval is en 8 procent heeft geen mening.

#### *Mooier wijkbeeld*

De wadi draagt bij aan een mooier wijkbeeld volgens 79 procent van de geënquêteerden, 11 procent denkt van niet en de overige 10 procent heeft geen mening.

### Onderhoud

In samenhang met de begroeiing is er ook gevraagd naar het onderhoud van de wadi. Hieruit kwam naar voren dat 80 procent van de respondenten vindt dat de wadi's goed worden onderhouden. De overige 20 procent heeft als voornaamste punt genoemd dat er sprake is van zwerfafval en puin in de wadi en dat het gras niet netjes wordt gemaaid.

### **Overige opmerkingen en ideeën van bewoners van Ruwenbos over begroeiing**

- Wadi kan mooier, groener.
- Natuurlijke begroeiing.
- Vijvers in de wijk beter onderhouden / beter controleren grasbeheer.
- Werkt goed en ziet er mooi uit!
- Wadi's geven wijk een meerwaarde en een stukje rust.
- Honden niet uitlaten in wadi.
- Wadi's beter onderhouden/te veel zwerfvuil.
- Inspraak bij bepalen plantensoorten in wadi.
- Wadi is dichtgeslibd / lang water in wadi / zwerfvuil (te weinig toezicht / goed onderhoud/ 1x per week maaien).
- Mensen laten honden uit in wadi.
- Meer struiken in de wadi.
- Gebruiken groenstrook.
- Goed, blijvend onderhoud belangrijk voor wadi.
- Is het niet leuk om kleine bomen (bijv. bolplatanen) aan een zijde van de wadi te plaatsen / bij ons uitproberen.
- Meer groen.

## Bijlage 5

### Kosten onderhoud en beheer

#### *Kosten bestaande situatie*

Aan het gazonbeheer in een wadi zijn (bij benadering) de volgende kosten verbonden<sup>8</sup>:

- maaien met een twee-assige trekker (zelfrijdende kooimaaiër en bestuurder) incl. voorbereidend werk, werkbreedte 220 cm, oppervlak 200-500 m<sup>2</sup>, frequentie 26 maal per jaar. Dit komt neer op 22 € per 100 m<sup>2</sup> per jaar;
- bijmaaien met een bosmaaiër, rond obstakels, uitgaande van 1 obstakel per 100 m<sup>2</sup>, frequentie 2 maal per jaar, 0.89 € per 100 m<sup>2</sup> per jaar;
- het maaisel blijft bij traditioneel gazonbeheer doorgaans achter; bij moderne vormen van gazonbeheer wordt maaisel soms afgevoerd. De kosten van composteren van dergelijk maaisel bedragen ongeveer 9 € per ton, ervan uitgaande dat de consequenties van toxische stoffen beneden de norm voor compostering zijn.

De totale kosten van het reguliere gazonbeheer bedragen daarmee circa € 23 per 100 m<sup>2</sup> per jaar; wanneer wordt gekozen voor compostering van maaisel circa € 24 per 100 m<sup>2</sup> per jaar, uitgaande van een jaarlijkse productie van 10 ton droge stof per hectare.

De bovenstaande gegevens zijn ontleend aan de algemene tijdnormen voor groenvoorzieningen en buitensportaccommodaties [IMAG-DLO, 1996]. Deze cijfers zijn algemeen van aard, d.w.z. niet toegespitst op een wadi.

#### *Kosten voorgestelde situatie*

Aan het twee maal per jaar maaien van de vegetatie in een wadi zijn (bij benadering) de volgende kosten verbonden:

- maaien met een 2-assige trekker en maaibalk werkbreedte 1.25 –1.50 meter, egaal terrein, 2x/jaar incl. voorbereidende werkzaamheden, ongeveer 3€ per 100 m<sup>2</sup> per jaar (bij aanwezigheid van bomen stijgen deze kosten met ongeveer 50 procent);
- bijmaaien met een bosmaaiër, rond obstakels, uitgaande van 1 obstakel per 100 m<sup>2</sup>, 2 maal per jaar, ongeveer 0.9€ per 100 m<sup>2</sup> per jaar;
- afvoer maaisel inclusief compostering € 20,= tot 30,= per ton; wanneer composteren niet mogelijk blijkt te zijn dient het maaisel als groenafval te worden verbrand; de kosten daarvan bedragen ongeveer € 90 per ton.

---

<sup>8</sup> uitgaande van een uurtarief van € 30 excl. BTW; aanschaf en onderhoud van apparatuur zijn buiten beschouwing gelaten. Bron: [IMAG-DLO, 1996].