

ZUIVERENDE VOORZIENINGEN REGENWATER



RAPPORT

2007
20

VERKENNING VAN DE KENNIS VAN ONTWERP, AANLEG EN BEHEER
VAN ZUIVERENDE REGENWATERSYSTEMEN
ZUIVERENDE VOORZIENINGEN REGENWATER

2007

20

ISBN 978.90.5773.369.7



stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 030 232 11 99 FAX 030 231 79 80
Arthur van Schendelstraat 816
POSTBUS 8090 3503 RB UTRECHT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen bij:
Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3330 CC Zwijndrecht,
TEL **078 623 05 00** FAX 078 623 05 48 EMAIL info@hageman.nl
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een afleveradres.

COLOFON

UITGAVE STOWA, Utrecht 2007

AUTEURS

ir. J. (Jeroen) Rombout
ir. F.C. (Floris) Boogaard
ir. J (Jeroen) Kluck
ing. R (Ronald) Wentink

PROJECTLEIDER

ir. F.C. (Floris) Boogaard

PROJECTUITVOERING

F.C. Boogaard	Tauw
J. Rombout	Tauw

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

A.S. Beenen	Rioned
T. Dekker	Stowa
A.J. Palsma	Stowa
R.T. Bos	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
T. Do	Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
H.J. Velthorst	Gemeente Arnhem
G. Stockell	Gemeente Bergen (NH)
G.H. Bruins	Waterschap Regge en Dinkel
M. Rijdsijk	Gemeente Utrecht
G. ten Bolscher	Gemeente Rijssen
B.J. Weener	Waterschap Rijn en IJssel

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA rapportnummer 2007-20
ISBN 978.90.5773.369.7

TEN GELEIDE

Afstromend regenwater wordt steeds vaker via een zuiverende voorziening geleid voordat het in het oppervlaktewater terecht komt. Hoewel deze zuiverende voorzieningen al een behoorlijk aantal jaren worden toegepast, is er in de praktijk relatief weinig van bekend. Stowa heeft daarom besloten om de ervaringen met verschillende voorzieningen te inventariseren.

In dit rapport zijn een vijftal zuiverende voorzieningen in kaart gebracht. Daarbij wordt ingegaan op het ontwerp, de kosten, de realisatie en het onderhoud en beheer van de voorzieningen. Ook wordt er ingegaan op de monitoring. Wij verwachten dat deze rapportage behulpzaam is bij mensen die beleidsmatig of in de dagelijkse praktijk te maken hebben met de zuivering van regenwater. Wij realiseren dat het beeld van alle voorzieningen in een groot scala aan situaties hiermee niet volledig is. Het rapport geeft de huidige kennis en ervaringen weer en is een goed vertrekpunt voor het verder uitbouwen van praktijk, kennis, ervaring en beleid. De STOWA beraadt zich op vervolgonderzoek. De ervaringen en de monitoring van Waterschappen en gemeenten zullen bij dat vervolgonderzoek een grote rol moeten spelen.

Utrecht, september 2007

De directeur van de STOWA,

Ir. J.M.J. Leenen

SAMENVATTING

Doordat de kijk op de omgang met regenwater de laatste jaren is veranderd, heeft er een omslag plaatsgevonden op het gebied van de omgang met regenwater. Uit diverse onderzoeken is gebleken dat het regenwater van verharde oppervlakken verontreinigd kan zijn. Mede hierdoor worden op diverse locaties in Nederland zuiverende voorzieningen aangelegd. Er is echter weinig up-to-date en gedetailleerde informatie beschikbaar over de daadwerkelijke zuiverende werking van zuiverende voorzieningen. Dit was de aanleiding voor Stowa om Tauw bv onderzoek te laten doen naar de kennis van het ontwerp, aanleg en beheer van de zuiverende werking van regenwatersystemen. Dit met als hoofddoel om meer inzicht te krijgen in het kwantitatief en kwalitatief functioneren van zuiverende voorzieningen onder verschillende praktijkomstandigheden.

Regenwater neemt op zijn weg naar de riolering verontreinigingen met zich mee, hierdoor verandert de samenstelling en de kwaliteit van regenwater. De samenstelling is onder andere afhankelijk van de aard en het gebruik van het oppervlak waarvan het regenwater afstroomt. De vorm waarin de verontreinigingen in het regenwater voorkomen bepaalt in belangrijke mate in hoeverre deze verontreinigingen verwijderd kunnen worden. Hierbij is kennis van onder andere de deeltjesgrootte van gesuspendeerd materiaal, de valsnelheid, het soortelijk gewicht en het bindingspercentage van de verontreinigingen van belang.

In Nederland worden de zuiverende voorzieningen voor regenwater relatief weinig toegepast (in vergelijking tot Engeland of Noord-Amerika). Nationaal is er nog niet veel ervaring beschikbaar gezien de geïmplementeerde systemen niet veel gemonitord worden. Door middel van metingen kan bijvoorbeeld worden vastgesteld of deze voorzieningen hydraulisch of milieuhygiënisch functioneren zoals ze zijn ontworpen, wat de behaalde rendementen zijn en welk beheer nodig is om het functioneren te waarborgen.

Om het afstromende regenwater te zuiveren kunnen diverse methoden worden ingezet. De volgende systemen worden in deze rapportage beschreven: de lamellenseparator, helofytenfilter, bezinkbak/bezinkvijver, bodempassage en doorlatende verharding. Diverse aspecten met betrekking tot de dimensionering, aanleg en beheer bepalen het zuiveringsproces en de -prestaties en worden in dit document beschouwd.

Een *lamellenseparator* is een betonnen of kunststof constructie met daarin verschillende onderdelen die ervoor zorgen dat de stromingscondities worden geoptimaliseerd ten behoeve van het bezinkingsproces van deeltjes uit het regenwater. Het onderscheid in de verschillende systemen kenmerkt zich onder andere door de plaatsing van de lamellen. De kosten voor een lamellenseparator variëren sterk per grootte en uitvoering maar liggen bij de beschouwde projecten en literatuur in de orde van EUR 3,10-EUR 5,70 per m² aangesloten oppervlak. Rendementen zijn in de praktijk nog niet veel gemeten en zullen sterk afhangen van het ontwerp en de locatiespecifieke omstandigheden. De zuiveringsprestaties die bekend zijn liggen in de orde van 28-60 %.

Er bestaan geen landelijke richtlijnen voor het ontwerp van lamellenseparatoren. In veel gevallen wordt voor een lamellenconstructie met een bypass een ontwerpdebiet aangehouden van minimaal 14 l/s/ha (5 mm/h) en of een oppervlaktebelasting van (So) ≤ 1 m/h.

Een praktische aanbeveling uit de praktijk is bijvoorbeeld dat na de bouw op het aangesloten verhard oppervlak de voorziening gereinigd dient te worden om te voorkomen dat het lamellenpakket gevuld is alvorens het in gebruik wordt genomen. Het beheer van de voorziening is van groot belang voor het garanderen van het functioneren op lange termijn. Het beheer bestaat onder andere uit het frequent verwijderen van slib en een eventuele drijfslag.

Helofytenfilters zijn systemen die het regenwater filteren middels bezinking en filtratie maar ook opname van stoffen door waterplanten (meestal riet). Het verschil tussen de systemen zit hem in de manier waarop het regenwater door het filter wordt geleid. De kosten verschillen sterk tussen de diverse systemen. Een horizontaal en verticaal doorstroomend helofytenfilter is in het algemeen duurder bij de aanleg dan een vloeiveld.

Er bestaan geen landelijke dimensioneringsrichtlijnen voor het ontwerp van helofytenfilters voor afstromend regenwater. Een veelgebruikte richtlijn is: de optimale hydraulische belasting bij vloeivelden is 0,02-0,05 m/d en bij verticaal doorstroomde filters 0,1 tot 0,2 m/d.

Bij de aanleg van een helofytenfilter dient voorkomen te worden dat de ondergrond wordt verdicht zodat de planten goed wortelen en de waterdoorlatendheid wordt behouden.

Eén van de belangrijkste beheersmaatregelen is het maaien van het riet in het helofytenveld.

Een *bezinkvijver/-bak* is een natuurlijke of betonnen constructie, waarin berging of afscheiding van bezinkbare stoffen uit afstromend regenwater plaatsvindt.

De kosten per m² aangesloten oppervlak zijn afhankelijk van de vormgeving, onderdelen en dimensies van de bezinkconstructie. De geïnventariseerde prijzen variëren globaal tussen de EUR 6,- en EUR 12,- per m² aangesloten oppervlak. Het rendement verschilt per ontwerp en per locatie, hierdoor is er geen eenduidig rendement te geven.

Bakken worden vaak gedimensioneerd op een ontwerpbelasting variërend van 20 tot 60 l/s/ha (zonder bypass constructie). Bij het ontwerp dient de oppervlaktebelasting (S_0) van de voorziening in de orde van 1-3 m/h te liggen. De inlaatsnelheid in de bezinkvijver dient maximaal 0,3-0,5 m/s te bedragen om te voorkomen dat bezonken slib opwoelt.

Het beheer bestaat onder andere uit het baggeren van de vijver/bak en het verwijderen van drijfvuil. De belasting van de constructie is net als bij de andere systemen moeilijk van te voren in te schatten. Aanbevolen wordt om de constructie na aanleg in ieder geval visueel te monitoren en daar de beheersfrequentie op aan te passen.

Een *bodempassage* is een voorziening waarbij de bodem zorgt voor de zuivering van het afstromende regenwater middels filtratie. Het principe van de bodempassage wordt in diverse verschillende regenwatersystemen toegepast als; wadi's, infiltratievelden, -greppels, -bermen en zandfilters. De prijzen voor de systemen varieert grofweg tussen de EUR 4,00 en EUR 7,00 per m² aangesloten oppervlak. Het rendement dat te behalen is, is sterk afhankelijk van de dimensies van de voorziening. Globaal kan gezegd worden dat de rendementen in verhouding met bezinking hoger zijn, maar dat de ruimteclaim hierbij ook hoger is.

Door de ervaringen met bodempassages, en in het bijzonder met wadi's, zijn er voor de dimensionering veel richtlijnen bepaald.

Bij de aanleg kan de bodempassage vervuild raken door bouwafval of verslemp raken door bouwverkeer. Het zo laat mogelijk aansluiten en inrichten van de bodempassage verdient daarom de aanbeveling. Het beheer is afhankelijk van de vormgeving en toegepaste onderdelen. Het verdient aanbeveling om een gevarieerde vegetatie te planten die door een goede doorworteling dichtslibbing van de toplaag voorkomt. Het beheer is afhankelijk van de

toegepaste onderdelen: vegetatie (maaibeheer), drain (doorspuiten) en toplaag (verticuleren, vervangen).

Doorlatende verharding is wegdek en fundering dat waterdoorlatend en of waterpasserend is uitgevoerd en een zuiverende en bergende functie kan herbergen. Afhankelijk van de manier waarop het water de voorziening passeert zijn de systemen verdeeld. Zo zijn te onderscheiden: nokkenstenen (passerende verharding), poreuze stenen (doorlatende verharding) en halfverhardingen.

Door de uiteenlopende uitvoeringen variëren de te theoretisch te behalen rendementen en kosten sterk; tussen de EUR 23,00 en EUR 70,00 per m² infiltrerend oppervlak. Om het regenwater over een groot oppervlak te laten infiltreren dient de verharding horizontaal te worden aangelegd. Het beheer van de verharding bestaat uit het vegen en zuigen ter voorkoming van dichtslibbing.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstututen en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

ZUIVERENDE VOORZIENINGEN REGENWATER

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Aanleiding	1
	1.2 Probleemstelling	2
	1.3 Waar staan we nu?	2
	1.4 Status onderzoek: verkenning	3
	1.5 Doel van het onderzoek	3
	1.6 Leeswijzer	3
2	UITGANGSPUNTEN/KADER	4
	2.1 Samenstelling(/kwaliteit) afstromend regenwater	4
	2.1.1 Inleiding	4
	2.1.2 Afstromend oppervlak en keuze zuiveringsvoorzieningen	5
	2.1.3 Gebonden en opgeloste stoffen in afstromend regenwater	7
	2.1.4 De deeltjesgrootte in (afstromend) regenwater	8
	2.1.5 De binding aan deeltjes in (afstromend) regenwater	9
	2.1.6 De valsnelheid van deeltjes in (afstromend) regenwater	11
	2.1.7 Conclusie	13
	2.2 Afkoppelen	13
	2.3 Scope voorzieningen	14
	2.4 Richtlijnen	15
	2.5 Criteria	15
	2.6 Zuiveringsprocessen per voorziening	15
	2.7 Foutieve aansluitingen	16
	2.8 Ontvangend water	16
3	MONITORING	18
	3.1 Meetprotocol	19
	3.2 Welke stoffen bemonsteren?	21
	3.3 Meetfrequenties	22
	3.4 Specifieke metingen per type zuiverende voorziening	23

4	LAMELLENSEPARATOR	25
4.1	Definitie	25
4.2	Werking	26
4.3	Lamellensystemen	27
4.4	Criteria	28
	4.4.1 Investeringskosten en exploitatiekosten	28
	4.4.2 Rendement	29
	4.4.3 Beheersaspecten	30
	4.4.4 Robuustheid	30
	4.4.5 Ruimtebeslag/inpasbaarheid	30
	4.4.6 Overlast	30
4.5	Richtlijnen	31
	4.5.1 Ontwerp	31
	4.5.2 Aanleg	32
	4.5.3 Beheer	33
4.6	Voor- en nadelen	33
4.7	Ervaringen	33
	4.7.1 Hoorn	36
	4.7.2 Gemeente Binnenmaas	39
	4.7.3 Utrecht	40
	4.7.4 Arnhem	41
	4.7.5 Rendementen bij bergbezinkbassins in Nederland	42
5	HELOFYTENFILTER	45
5.1	Definitie	45
5.2	Werking vloeivelden	46
5.3	Werking horizontaal en verticaal doorstroomde helofytenfilters	48
5.4	Criteria	49
	5.4.1 Investeringskosten en exploitatiekosten	49
	5.4.2 Rendement	51
	5.4.3 Kosteneffectiviteit	52
	5.4.4 Beheersaspecten	53
	5.4.5 Robuustheid	53
	5.4.6 Ruimtebeslag/inpasbaarheid	53
	5.4.7 Overlast	54
5.5	Ontwerprichtlijnen	54
	5.5.1 Algemeen	54
	5.5.2 Ontwerp	55
	5.5.3 Aanleg	57
	5.5.4 Beheer	57
5.6	Voor- en nadelen	58
5.7	Ervaringen	58
	5.7.1 Erasmusgracht	58
	5.7.2 Zeewolde	59
	5.7.3 Utrecht	60
	5.7.4 Arnhem	60
	5.7.5 A1 in het Gooi	60

6	BEZINKVIJVER/-BAK	62
6.1	Definitie	62
6.2	Werking	62
6.3	Systemen	63
6.4	Criteria	63
	6.4.1 Investeringskosten en exploitatiekosten	63
	6.4.2 Rendement	63
	6.4.3 Beheersaspecten	64
	6.4.4 Robuustheid	64
	6.4.5 Ruimtebeslag/inpasbaarheid	64
	6.4.6 Overlast	64
6.5	Richtlijnen	65
	6.5.1 Ontwerp	65
	6.5.2 Aanleg	66
	6.5.3 Beheer	66
6.6	Voor- en nadelen	67
6.7	Ervaringen	68
	6.7.1 Bezinkbassin in het Julianapark	68
	6.7.2 Bezinkbak als randvoorziening, Erasmusgracht	68
7	BODEMPASSAGE	70
7.1	Definitie	70
7.2	Werking	71
7.3	Systemen	72
7.4	Criteria	72
	7.4.1 Investeringskosten en exploitatiekosten	72
	7.4.2 Rendement	74
	7.4.3 Beheersaspecten	75
	7.4.4 Robuustheid	76
	7.4.5 Ruimtebeslag/inpasbaarheid	76
	7.4.6 Overlast	76
7.5	Richtlijnen	77
	7.5.1 Ontwerp	77
	7.5.2 Aanleg	78
	7.5.3 Beheer	79
7.6	Voor- en nadelen	82
7.7	Ervaringen	82
	7.7.1 Enschede (Ruwenbos)	83
	7.7.2 Arnhem-Zuid (Burgemeester Matsersingel)	83
	7.7.3 Arnhem-Zuid (Brabantweg)	85
	7.7.4 's Hertogenbosch (de Vliert)	85
	7.7.5 Utrecht (Leidsche Rijn)	86
	7.7.6 Tholen (Scherpenisse)	86
	7.7.7 Almelo	88

8	DOORLATENDE VERHARDING	90
8.1	Definitie	90
8.2	Werking	91
8.3	Systemen	91
8.4	Criteria	92
	8.4.1 Investeringskosten en exploitatiekosten	92
	8.4.2 Rendement	93
	8.4.3 Beheersaspecten	94
	8.4.4 Robuustheid	94
	8.4.5 Ruimtebeslag/inpasbaarheid	94
	8.4.6 Overlast	94
8.5	Richtlijnen	94
	8.5.1 Ontwerp	94
	8.5.2 Aanleg	96
	8.5.3 Beheer	97
8.6	Voor- en nadelen	100
8.7	Ervaringen	100
	8.7.1 Utrecht	100
	8.7.2 Almere	101
	8.7.3 Ervaringsonderzoek	101
9	LITERATUURLIJST	103
	BIJLAGEN	
1	LAMELLENSEPARATOREN	109
2	HELOFYTFILTER	123
3	BEZINKBAK/BEZINKVIJVER	134
4	BODEMPASSAGE	140
5	DOORLATENDE VERHARDING	142
6	OPZET MONITORINGS-/MEETPROTOCOL PROJECT 'DATABASE REGENWATER'	144
7	VERSLAG WORKSHOP	150
8	BRONMAATREGELLEN	154
9	LIJST INSTANTIES MET DIRECTE INBRENG	157
10	VOORBEELDEN EN FACTSHEETS	159

1

INLEIDING

De laatste jaren kijkt men anders aan tegen de omgang met regenwater. Vroeger werd het water zo snel mogelijk afgevoerd met als gevolg dat riolering en rioolwaterzuivering bij grote regenbuien niet voldoende functioneerden. Dit zorgde voor verschillende problemen. Door de grote hoeveelheid water in het riool werd de capaciteit overschreden. Hierdoor ontstonden er overstortingen van het ongezuiverde water uit het riool op het oppervlaktewater. Daarnaast had het water door de snelle afvoer naar het riool, geen tijd om in de bodem te infiltreren.

Door deze ontwikkelingen heeft er een omslag plaatsgevonden op het gebied van de omgang met regenwater: het schone regenwater wordt zo min mogelijk afgevoerd naar de RWZI (afkoppelen), maar ter plaatse geïnfiltrerd in de bodem alvorens het wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater.

In verschillende Rijksnota's (de Nota's Waterhuishouding, de Nationale Milieubeleidsplannen, de Nota Anders omgaan met water – Waterbeleid in de 21e eeuw) is beleid ten aanzien van de omgang met regenwater opgenomen (zoals verwoord in beleidsbrief regenwater en riolering [2]). Dit beleid heeft als hoofdlijnen:

- Zo veel mogelijk beperken van verontreiniging van het regenwater
- Beperken van de overstortingen door aanpassingen aan rioolstelsels en door afkoppelen
- Uitgaan van de drietrapsstrategie "vasthouden, bergen en afvoeren" bij omgang met regenwater

In navolging van de kwantitatieve strategie is een kwalitatieve 3-trapsstrategie geformuleerd:

- Schoonhouden (bronmaatregelen)
- Scheiden
- Zuiveren

1.1 AANLEIDING

Door het scheiden van huishoudelijk afvalwater en regenwater behouden we het water op de plaats waar we het willen hebben en zijn we in veel situaties in staat om het zuiveren van water goedkoper/efficiënter uit te voeren. Men wil een gezond watersysteem en de Kaderrichtlijn Water is een essentiële drive in het realiseren van dit gezonde systeem. Omdat uit diverse onderzoeken blijkt dat het regenwater van verharde oppervlakken verontreinigd kan zijn, worden in Nederland op diverse locaties steeds meer zuiverende voorzieningen aangelegd.

Naast de scheiding van de waterstroming zijn door de versterking van verantwoordelijkheden de gemeenten genoodzaakt maatregelen te nemen betreffende hemelwater. De gemeentelijke regierol vloeit voort uit de veranderingen die in het stedelijk gebied moeten plaatsvinden. De scheiding van het regenwater en afvalwater begint op perceelsniveau, waarbij voor het regenwater door gemeente en waterschap oplossingen op lokale schaal worden gezocht.

Wie de verantwoordelijkheid voor het regenwater draagt, wordt als volgt geformuleerd [2]:

De primaire verantwoordelijkheid voor het omgaan met regenwater draagt degene bij wie het regenwater als gevolg van verhard en overkappen vrijkomt.

De verantwoordelijkheid voor wat betreft de kwaliteit van het regenwater ligt dus in veel gevallen bij de gemeente, aangezien zij voor het merendeel eigenaar zijn van het verhard oppervlak in de steden. Daarnaast wordt er door de KRW gekeken naar de kwaliteit van onder andere het oppervlaktewater. De waterbeheerders dienen hierdoor dus extra aandacht te besteden aan de kwaliteit van het water dat geloosd wordt op het oppervlaktewater.

Door deze verschuivingen van verantwoordelijkheden zijn steeds meer gemeenten geïnteresseerd in afkoppeltechnieken.

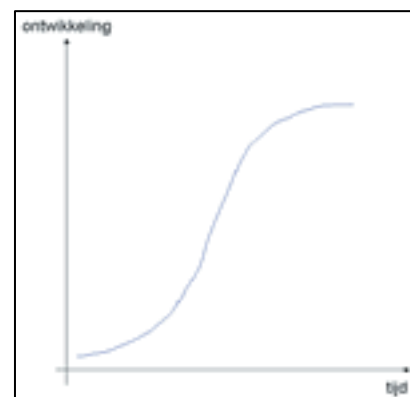
1.2 PROBLEEMSTELLING

Er is weinig up-to-date en gedetailleerde informatie beschikbaar over de werking van de zuiverende voorzieningen. Het ontbreekt aan praktische richtlijnen en aanbevelingen voor het ontwerp, aanleg en beheer van deze voorzieningen. Het functioneren van veel van deze voorzieningen is voor velen een 'black box'. Er wordt door gemeenten en waterschappen op enkele plaatsen gemeten aan bestaande voorzieningen, maar deze gegevens lijken niet altijd representatief en voldoende om de werking van de voorzieningen te beoordelen (rendementen). De opgedane kennis blijft vaak bij personen of dossierkasten en weinig centraal verzameld en uitgewisseld. Daarnaast is er ook een gebrek aan inzicht in samenstelling en bezinkbaarheid van deeltjes in afstromend regenwater. Dit is de reden voor Stowa om hier naar onderzoek te doen.

1.3 WAAR STAAN WE NU?

Zuiveringsmethodieken voor regenwater staan in Nederland nog in de kinderschoenen maar worden op steeds grotere schaal toegepast. De ervaringen met het functioneren van deze voorzieningen is sterk afhankelijk per voorziening (zo is bijvoorbeeld van wadi's meer bekend dan van lamellenfilters). In het algemeen is de ervaring over het lange termijn-functioneren in Nederland relatief beperkt. Het eind van de ontwikkelingscurve is daarmee dus zeker nog niet bereikt.

De behoefte aan ervaringen uit binnen- en buitenland en richtlijnen met betrekking tot ontwerp, aanleg en beheer neemt toe.



Ontwikkelingscurve

1.4 STATUS ONDERZOEK: VERKENNING

Deze rapportage geeft een beeld van de beschikbare informatie medio 2007. Enkele conclusies in deze rapportage zijn ‘voorlopige conclusies’ aangezien deze nog niet gebaseerd is op veel ervaringen en metingen. Om toch in een vroeg stadium inzicht te krijgen in de beschikbare informatie is deze gebundeld in dit document. Momenteel zijn er veel monitoringsprogramma's opgezet en komen er nieuwe data en ervaringen vrij over het functioneren van zuiverende voorzieningen. Het verzamelen en uitwisselen van kennis omtrent zuiverende voorzieningen stopt niet met deze rapportage maar wordt voortgezet, onder andere door een promotieonderzoek aan de TU Delft.

Deze rapportage zal in papieren vorm of digitale vorm worden aangevuld. Uw opmerkingen, aanvullingen zijn daarom van harte welkom bij de auteurs van deze rapportage en Stowa: palsma@Stowa.nl en f.c.boogaard@tudelft.nl.

1.5 DOEL VAN HET ONDERZOEK

Het doel van het onderzoek is om meer inzicht krijgen in het kwantitatief en kwalitatief functioneren van zuiverende voorzieningen onder verschillende praktijkomstandigheden en het stimuleren van de toepassing ervan.

1.6 LEESWIJZER

Een vijftal zuiverende voorzieningen vormen de basis van dit rapport. Voordat er gekeken wordt naar deze voorzieningen, worden in hoofdstuk 2 de randvoorwaarden behandeld die bepalend zijn voor de zuiverende voorzieningen. Hierbij wordt gekeken naar de kwaliteit van het afstromende regenwater, de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater, foutieve aansluitingen en de zuiveringsprocessen. Niet alle zuiverende voorzieningen zullen behandeld worden. Daarom wordt er in hoofdstuk 2 ook een kader gegeven waarbinnen het onderzoek plaats heeft gevonden.

In hoofdstuk 3 wordt beschreven hoe de verschillende voorzieningen gemonitord moeten worden en waar hierbij op gelet moet worden.

De hoofdstukken over de zuiverende voorzieningen zijn uniform opgebouwd. Er wordt een definitie gegeven van de voorziening, de werking wordt beschreven, de verschillende systemen binnen de voorziening worden besproken en richtlijnen voor het ontwerp, aanleg en beheer zijn opgesteld.

De voorzieningen worden in de volgende hoofdstukken behandeld:

- Lamellenseparatoren → hoofdstuk 4
- Helofytenveld → hoofdstuk 5
- Bezinkbak/bezinkvijver → hoofdstuk 6
- Bodempassage → hoofdstuk 7
- Doorlatende verharding → hoofdstuk 8

De waterschappen en gemeenten dienen in de praktijk vaak een keuze te maken tussen de verschillende voorzieningen bij het afkoppelen. Om de keuze te vereenvoudigen wordt in hoofdstuk 9 een aantal voorbeelden gegeven voor beslissingsondersteunde systemen. Hiermee kan op degelijke wijze een afweging worden gemaakt tussen de verschillende zuiverende voorzieningen.

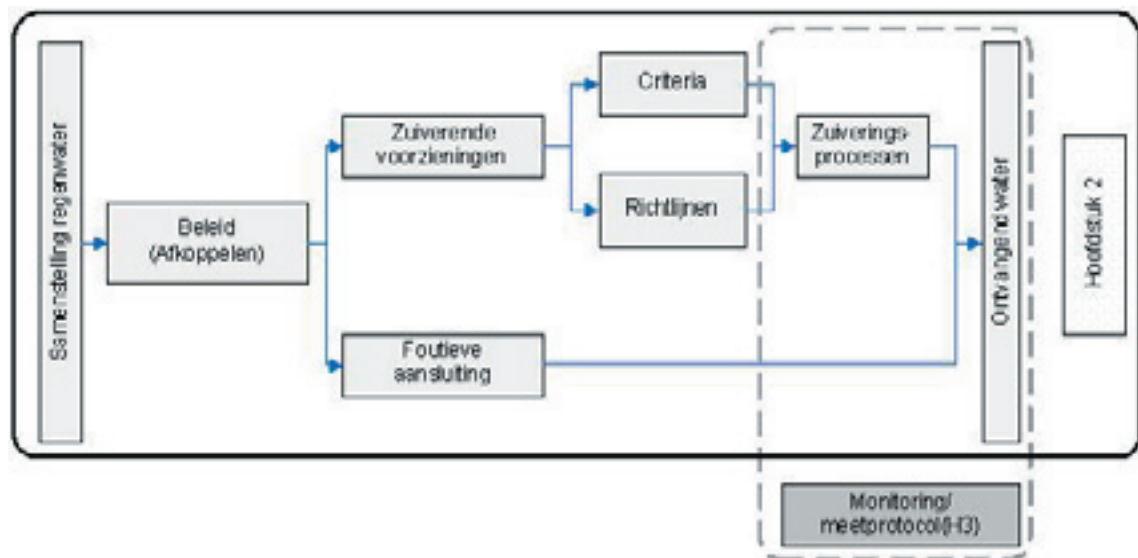
2

UITGANGSPUNTEN/KADER

Regenwater neemt op zijn weg naar de riolering verontreinigingen op. Hierdoor verandert de samenstelling van regenwater (paragraaf 2.1). Het huidige beleid is er onder andere op gericht om dit regenwater af te koppelen van de riolering en de rwzi hier niet inefficiënt mee te belasten (paragraaf 2.2). Om het verontreinigende water toch te zuiveren, kan gebruik worden gemaakt van zuiverende voorzieningen, waarvan in deze rapportage een selectie is beschreven (paragraaf 2.3). Welke voorziening wordt toegepast (paragraaf 2.5), de dimensionering, aanleg en beheer (paragraaf 2.4) bepaalt het zuiveringsproces en het te behalen rendement voordat het wordt geloosd op het ontvangende water (paragraaf 2.8). Eén van de risico's van het afkoppelen is de kans op foutieve aansluitingen (paragraaf 2.7) met als gevolg een negatief en vrijwel continue effect op het ontvangende water.

De werking van de zuiverende voorzieningen en het effect op het ontvangende water dient bij voorkeur gecontroleerd te worden. Dit gebeurt middels monitoring dat kan geschieden volgens het meetprotocol (hoofdstuk 3). In dit hoofdstuk zal verder worden ingegaan op de beschreven onderwerpen.

FIGUUR 2.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE INHOUD VAN HOOFDSTUK 2



2.1 SAMENSTELLING(/KWALITEIT) AFSTROMEND REGENWATER

2.1.1 INLEIDING

Een regendruppel bestaat uit zuiver water op het moment dat hij ontstaat, maar op zijn weg door de atmosfeer naar beneden raakt het verontreinigd met stoffen die zich in de lucht bevinden [1]. Regenwater is dus nooit schoon, al voordat het op de grond valt bevat het regenwater verontreinigingen. Als het vervolgens van een verhard oppervlak afstroomt, neemt de verontreiniging vaak verder toe. Factoren die de kwaliteit van afstromend regenwater kun-

nen beïnvloeden, zijn onder andere: de aard en het gebruik van het afstromende oppervlak, de verkeersbelasting, het soort dakbedekking (zinken dakgoten, loodslabben), straatmeubilair, bestrating (open verharding of dicht) en locatiespecifieke omstandigheden (industrieën, vliegvelden) of seizoensgebonden omstandigheden (strooizout, bladval, pollen, stof). Door deze factoren kunnen de concentraties van verontreinigingen, deeltjesgrootte en de binding van stoffen een grote bandbreedte vertonen [1]. Hierdoor kan er, wanneer het eenmaal is afgestroomd naar bodem of oppervlaktewater, vaak niet meer gesproken worden van schoon water.

Veel microverontreinigingen kunnen van het water worden gescheiden doordat deze verontreinigingen zich binden aan grotere deeltjes die bezinken. Van zware metalen en PAK in het afstromend regenwater is bekend dat een groot deel gebonden is aan de zwevende stofdeeltjes (slib, klei, organische stof). Over de valsnelheden van verontreinigingen of van de diverse fracties zwevend stof en de daaraan geboden verontreinigingen is vooralsnog echter weinig bekend. Deze informatie is van belang voor het ontwerpen van zuiveringsvoorzieningen van regenwater. Met deze informatie kan het nut en de noodzaak van deze voorzieningen worden ingeschat en kunnen er ontwerpspunten uit worden gedestilleerd. Dus zonder die informatie blijft het moeilijk om de juiste uitgangspunten te bepalen.

Om de concentraties van het afstromend regenwater te inventariseren is een database 'met kwaliteitsmetingen naar regenwater opgesteld [stowa 2007]. Aanvullend is in het kader van dit project literatuuronderzoek verricht naar de samenstelling van afstromend regenwater en de fractieverdeling dat in dit rapport wordt uiteengezet.

2.1.2 AFSTROMEND OPPERVLAK EN KEUZE ZUIVERINGSVOORZIENINGEN

De kwaliteit van het afstromende regenwater vertoont grote verschillen en is onder andere afhankelijk van het oppervlak waarvan het afstroomt. Dit is de reden waarom er bij de keuze van zuiveringsvoorzieningen onderscheid wordt gemaakt tussen de typen afstromende oppervlakken [4].

CATEGORIEËN

De concentraties van de verontreinigingen vertonen een grote bandbreedte waardoor er geen eenduidige behandelingswijze per categorie verhard oppervlak is aan te geven. Wel wordt er over het algemeen vanuit gegaan dat bijvoorbeeld hemelwater van daken schoner is dan dat van wegen en dat het hemelwater op bedrijventerreinen de slechtste kwaliteit heeft. Deze algemene opvatting volgt niet direct uit de database voor afstromend regenwater maar wordt vaak wel als richtlijn verwerkt in beslisbomen en wordt daarom hierna toegelicht. De oppervlakten met eigen karakteristieke concentraties in afstromend regenwater zijn onderverdeeld in de volgende categorieën:

DAKEN

Hemelwater afkomstig van daken bevat vooral zware metalen (lood, koper, zink en dergelijke). Bij parkeerplaatsen en wegen, zullen naast zware metalen ook polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) en olie aanwezig zijn in het afstromende hemelwater.

WEGEN

In enkele beslissingssystematieken voor de omgang met regenwater is de verkeersintensiteit van een weg als criterium opgenomen. De achterliggende gedachte is dat de verkeersintensiteit een maat is voor de vervuilingsgraad van het afstromend regenwater van wegen. Bij het

interpreteren van de onderzoeken is echter geen eenduidige relatie waargenomen tussen verkeersintensiteit en verontreinigingsgraad bij wegen in het stedelijk gebied [4]. Ook bij onderzoek naar de kwaliteit van afstromend regenwater van autosnelwegen kon geen verband worden gelegd tussen de verkeersintensiteit en de totale verontreiniging door diffuse bronnen langs wegen [7]. Dit onderscheid zou dus niet meer gebruikt moeten worden. Aangezien de verkeersintensiteit geen relatie heeft met de concentratie is gekozen voor een onderscheid in een andere categorie. Er wordt een onderscheid gemaakt in soorten verharding (zeer open asfalt beton (ZOAB) en dicht asfalt beton (DAB)). Het onderscheid in verharding komt voort uit de eigenschappen van de verharding en dan met name de porositeit. Open verharding zoals klinkers en tegels vallen onder de categorie gemengd stedelijk gebied.

In ZOAB bevindt zich meer open ruimte dan DAB (als gevolg van een ander korrelskelet), zodat een gedeelte van de verontreinigingen achterblijft in deze ruimtes. Hierdoor zullen de verontreinigingen, gemeten in afstromend regenwater, van ZOAB lager zijn. Wegen van ZOAB hebben minder runoff door een grotere verdamping uit het wegdek en meer berging. Een belangrijk deel van het slib blijft achter in het wegdek, dat daarom periodiek gereinigd moet worden om het verstopt raken te voorkomen. Er spat ook minder water weg. De vuillast via runoff en spatwater is bij ZOAB daardoor aanzienlijk lager [8].

Naast het onderscheid in verharding is er ook onderscheid gemaakt in het soort weg. Er wordt onderscheid gemaakt in provinciale wegen en snelwegen.

Er kunnen zo drie categorieën onderscheiden worden, te weten: snelweg DAB (W1), snelweg ZOAB (W2) en provinciale weg DAB (W3) De onderzochte provinciale wegen bestonden enkel en alleen uit DAB, vandaar dat hier geen onderscheid is gemaakt.

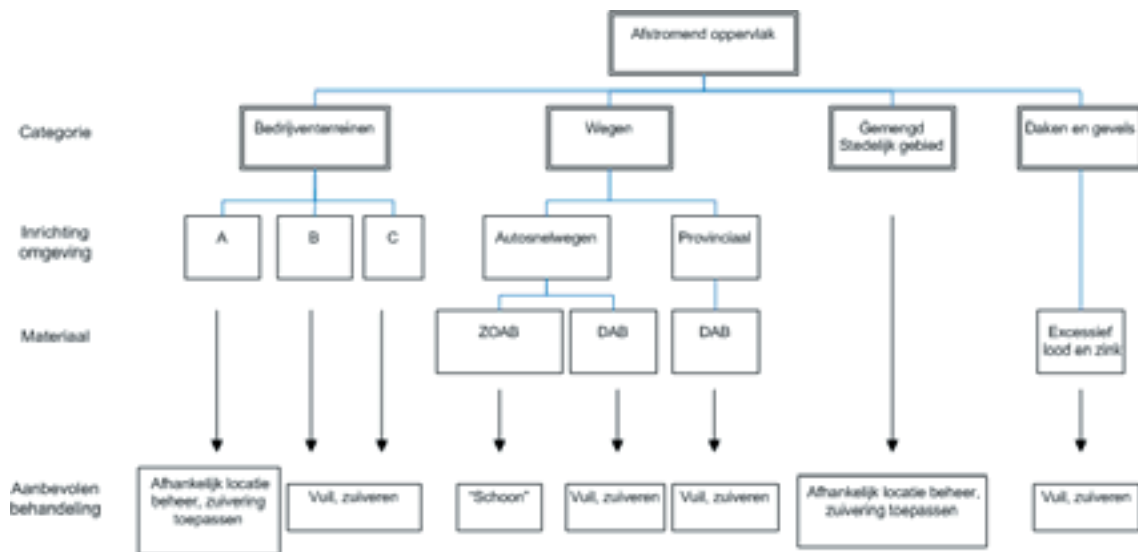
BEDRIJVENTERREINEN

In de ruimtelijke ordening en in de Wet milieubeheer worden bedrijfstypen ingedeeld in milieucategorieën. Alle bedrijventerreinen krijgen een classificatie. Alleen bedrijfstypen van milieucategorie 4 (en eventueel 3 of 5) mogen zich op een dergelijk bedrijventerrein vestigen. De categorieën zijn ingedeeld van 1 t/m 6 waarbij de milieubelasting toeneemt. De bedrijven zijn ingedeeld door de Vereniging van Nederlandse Gemeente (VNG). De milieucategorie wordt bepaald door stofuitstoot en geur evenals door geluid, gevaar, visuele aanblik en verkeersaantrekkende werking. In welke klasse de verschillende bedrijven zijn ingedeeld, is te vinden in het rapport milieucategorie-indeling van de VNG [5]. De meeste onderzoeken naar de kwaliteit van het afstromende regenwater blijken te zijn gedaan bij bedrijven uit de categorieën 2, 3 en 4. Van bedrijven uit categorie 1, 5 en 6 zijn er relatief weinig onderzoeksgegevens.

In het onderzoek 'regenwater van bedrijventerreinen' [Stowa, 2005] zijn de categorieën ingedeeld in A, B en C aangezien sommige categorieën overeenkomstige eigenschappen hebben. Categorieën 1 en 2 vormen samen A, categorie 3 vormt B en in categorie C zijn 4, 5 en 6 opgenomen [6].

De verdeling in categorieën is in figuur 2.1 door middel van een diagram weergegeven.

FIGUUR 2.2 CATEGORISERING AFSTROMEND OPPERVLAK EN DE AANBEVOLEN BEHANDELING [98]



2.1.3 GEBONDEN EN OPGELOSTE STOFFEN IN AFSTROMEND REGENWATER

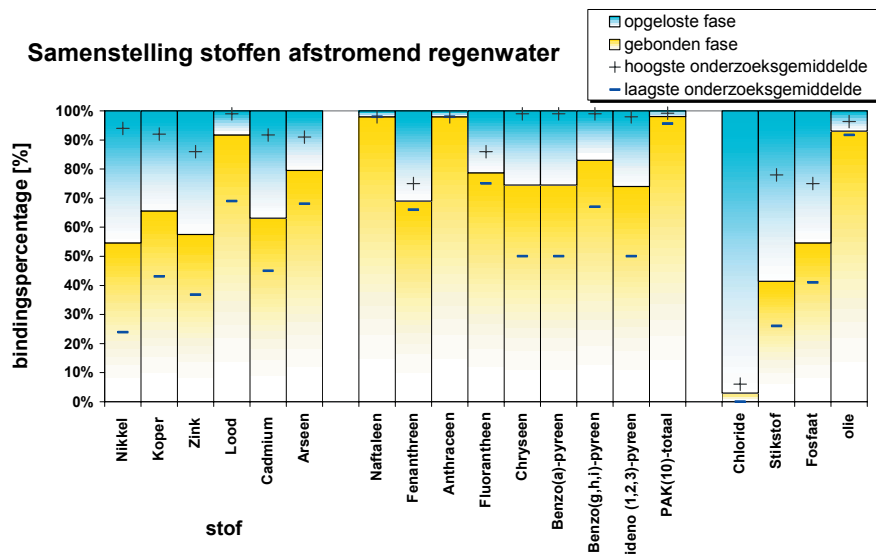
In het water komen opgeloste stoffen en niet-opgeloste of vaste stoffen voor (zie figuur 2.3). Opgeloste stoffen zijn stoffen die in het water uiteenvallen in individuele moleculen. De niet-opgeloste stoffen kunnen als volgt worden ingedeeld [10]:

- Colloïdale stoffen: stoffen met een diameter tussen 10^{-9} en 10^{-7} m en dichtheden tussen de 1000 en 2000 kg/m^3 . Deze deeltjes kunnen het water vertroebelen of een onaangename kleur geven, bijvoorbeeld de bruine kleur van water door humusachtige stoffen. Deze stoffen vormen een overgang tussen opgeloste en gesuspendeerde stoffen
- Gesuspendeerde stoffen: stoffen met een diameter groter dan 10^{-6} m en een dichtheid groter dan water. Deze deeltjes worden in suspensie gebracht door de turbulentie van stromend water. De relatief grotere en zwaardere deeltjes zullen zich glijdend, schurend en springend over de bodem bewegen terwijl de kleinere deeltjes door de turbulentie zwevend worden gehouden. In stilstaand water zullen gesuspendeerde stoffen uitzakken onder invloed van de zwaartekracht
- Drijvende stoffen: stoffen met een dichtheid kleiner dan water

Zwevend stof bestaat uit een organisch deel en een anorganisch deel. Organische microverontreinigingen binden zich met name aan het organische deel en de anorganische microverontreinigingen (zware metalen) aan het anorganische deel (bijvoorbeeld lutumdeeltjes) [11].

FIGUUR 2.3

PERCENTAGE GEBONDEN EN OPGELOSTE STOFFEN [12], FOTO HOEVEELHEID GEBONDEN STOFFEN AFGEVANGEN IN BEZINKBAK VOOR AFSTROMEND REGENWATER (ZIE VOORBEELDEN: JULIANAPARK, AMSTERDAM)



Uit de beschouwde meetgegevens, zoals in figuur 2.3, kan geconcludeerd worden, dat van de metalen lood (92 %) en ijzer (98 %) het meest gebonden zijn en dat nikkel zich het minst bindt (55 %). Gemiddeld is 72 % van de metalen gebonden en 28 % van de metalen is opgelost. PAK zijn voor 98 % gebonden. Van de onopgeloste olie is 93 % gebonden en stikstof en fosfaat zijn voor respectievelijk 40 % en 50 % gebonden aan zwevend stof. De meest voorkomende vorm van stikstof in water is nitraat. Nitraat wordt alleen niet of nauwelijks gebonden, het getal voor stikstof is daarom opvallend.

De binding van de voornaamste verontreinigingen in afstromend regenwater (PAK en zware metalen) is relatief groot waardoor het afvangen van deze gebonden verontreinigingen kansrijk is. Binnen de stofgroepen kan de binding verschillen; het zware metaal cadmium (relatief giftige stof voor flora en fauna) bindt zich in mindere mate dan bijvoorbeeld het zware metaal lood. Voor nutriënten en andere stoffen lijkt de binding lager te liggen, deze stoffen zijn ook van minder belang in regenwater (t.o.v. andere bronnen).

De belangrijkste 'probleemstoffen' in water zouden koper, lood, zink, PAK en minerale oliën zijn. Van deze stoffen binden lood, PAK en oliën voor meer dan 90 %. Zink en koper daarentegen binden slechter, respectievelijk 58 en 65 %. (echter grote bandbreedtes). Het zal relatief eenvoudiger zijn om bij de stoffen met een hogere binding een hoger rendement te behalen.

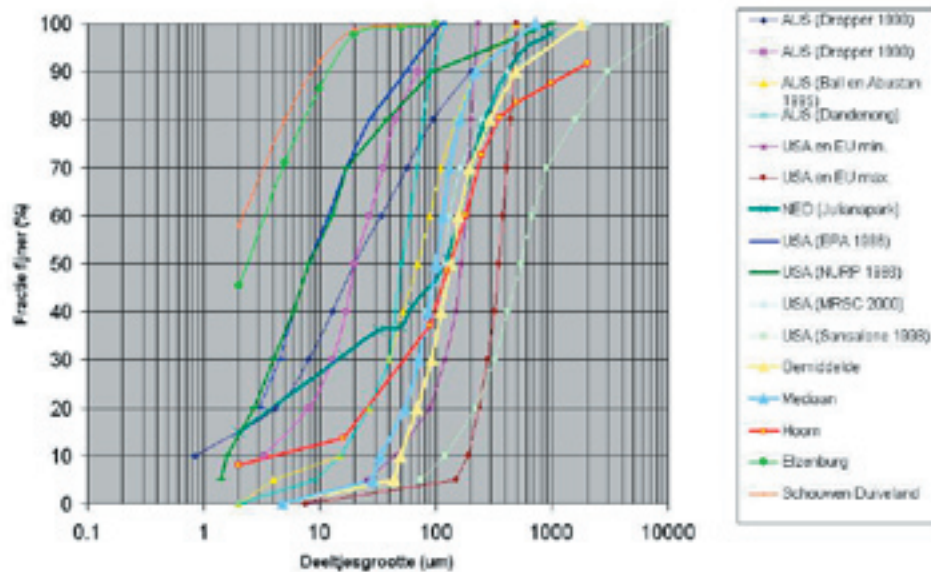
2.1.4 DE DEELTJESGROOTTE IN (AFSTROMEND) REGENWATER

Bij enkele onderzoeken naar afstromend regenwater is gekeken naar de deeltjesgrootte van gesuspendeerd materiaal. In figuur 2.4 is de verdelingen van deeltjes uit verschillende internationale onderzoeken weergegeven. Ook is het nationale onderzoek naar de slibsamenvatting van de bezinkbak in het Amsterdamse Julianapark weergegeven.

Het gemiddelde is genomen over 10 internationale onderzoeken en de 'mediane' waarde (het gemiddelde zonder de extreme pieken).

De Nederlandse data valt in de internationale bandbreedte. Voor deeltjes >120 µm komt de Nederlandse data redelijk overeen met het gemiddelde uit internationale onderzoeken. Bij deeltjes kleiner dan 120 µm vertoont de grafiek een afwijkende lijn. Bij de Nederlandse data is het percentage deeltjes <120 µm groter dan het gemiddelde van de internationale onderzoeken. De van oudsher aanwezige klei- en veengrond kan hiervoor een verklaring zijn.

FIGUUR 2.4 DEELTJES IN AFSTROMEND REGENWATER [13, 14, 15, 16, 17]



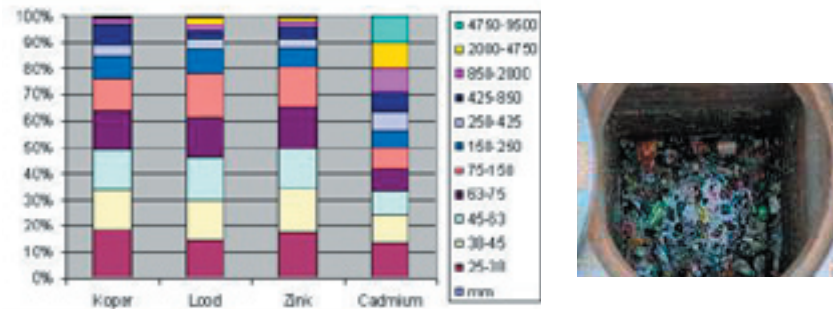
Uit figuur 2.4 is af te lezen dat gemiddeld 50 % van de deeltjes kleiner is dan 120 μm . Als er als eis gesteld wordt aan de zuiveringsvoorziening dat 75 % van de deeltjes afgevangen moet worden, zouden deeltjes $>65 \mu\text{m}$ moeten bezinken in de voorziening. Gezien het enige nationale onderzoek, zie figuur 2.4, redelijk op het gemiddelde van de internationale onderzoeken ligt, zal bij gebrek aan meerdere gegevens dit voorlopig als een gemiddelde fractieverdeling in modellen worden aangenomen.

Het is aan te bevelen om meer onderzoek te doen naar de deeltjesgrootte in regenwater. Het onderzoek dient verdeeld over Nederland plaats te vinden bij verschillende oppervlakten en onder verschillende omstandigheden. De verdeling van de deeltjes zal waarschijnlijk locatie-specifiek zijn, maar ook per gebeurtenis verschillen.

2.1.5 DE BINDING AAN DEELTJES IN (AFSTROMEND) REGENWATER

Veel voorzieningen zuiveren alleen de zwevende stoffen uit het water. Het is daarom van belang om te onderzoeken welke verontreinigingen zich binden aan de zwevende deeltjes, om zo de te verwijderen verontreinigingen te bepalen. Voor zover bekend zijn in Nederland geen onderzoeken gedaan, naar de binding van verontreinigingen aan onopgeloste deeltjes in regenwater. Daarom is internationale (Duitsland, Amerika, Zweden en Australië) literatuur bestudeerd om een verband te leggen tussen deeltjesgrootte en binding van verontreinigingen. De onderzoeken zijn gedaan in verschillende landen en het regenwater was afkomstig van verschillende oppervlakten.

FIGUUR 2.5 PROCENTUELE VERDELING VAN VERONTREINIGING IN AFSTROMEND WEGWATER OVER DEELTJESGROOTTE, FOTO VAN REGENWATERPUT IN EEN GESCHIEDEN STELSEL OP EEN MARKTPLEIN



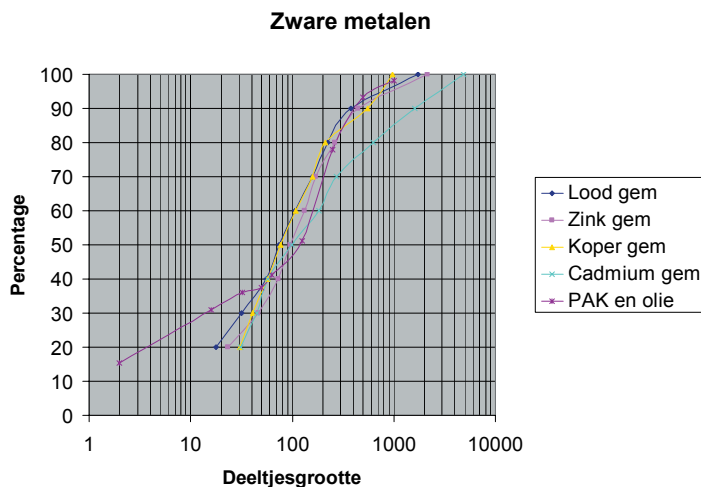
In figuur 2.6 staan de verdelingen, die voor zware metalen, zijn gevonden. De grafiek is samengesteld uit de verdelingen zoals weergegeven in figuur 2.6. Over de binding van PAK en olie is geen literatuur gevonden. Voor deze stoffen wordt de aanname gedaan dat ze binden volgens dezelfde verdeling als de deeltjesgrootte verdeling in het Julianapark.

Uit de beschouwde meetgegevens kan geconcludeerd worden dat, 50 tot 60 % van de zware metalen (zink, koper, cadmium en lood) zich bindt aan deeltjes <100 µm. Deze conclusie wordt ook getrokken in onderzoeken van Walker [18] en Stone en Marsalek [19]. Sartor en Boyd [20] en Bradford [21]. De onderzoeken wijzen uit dat 50 % van de zware metalen zich bindt aan deeltjes < 43 µm.

Studies van Xanthopoulos en Augustin [22] en Chebbo [23] hebben bewezen dat de verontreinigende stoffen hoofdzakelijk gebonden zijn aan de fijnste deeltjes, dus aan deeltjes met een lage valsnelheid. Het is lastig om deze verontreiniging doormiddel van bezinking te verwijderen. De valsnelheid zal in de volgende paragraaf besproken worden.

Er kan niet gesteld worden dat één bepaald metaal zich uniform bindt aan een bepaalde deeltjesgrootte. De verdeling van lood, zink en koper vertonen dezelfde trend, alleen cadmium is afwijkend hieraan. Van cadmium bindt zich ook 50 % aan deeltjes <100 µm maar grotere deeltjes (>2000 µm) kunnen ook nog cadmium binden. Lood, zink en koper vertonen dezelfde verdeling over de deeltjes, alleen lood bindt zich voor 92 % terwijl koper zich voor 65 % bindt en 58 % van de zink bindt zich. Cadmium is voor 75 % gebonden. Er kan dus wel gesteld worden dat er voor lood een hoger verwijderingsrendement verwacht mag worden.

FIGUUR 2.6 GEMIDDELDE CUMULATIEVE VERDELING VAN ZWARE METALLEN GEBONDEN AAN VERSCHILLENDE FRACTIES ZWEVENDE STOF [22, 24, 25, 26, 27, 28]



De concentraties van verontreinigingen (zink, koper, cadmium en lood) nemen toe naarmate het specifieke oppervlak (groter oppervlak om aan te binden) toeneemt. Kleideeltjes (lutum, <math><2 \mu\text{m}</math>) zijn effectief in het binden van zware metalen vanwege hun negatieve oppervlakte en de positieve lading van de opgeloste zware metalen. De binding is afhankelijk van het type klei en de verhouding/concentratie zware metalen in het water. De grafiek laat echter zien dat een groot deel gebonden is aan de fractie >2 μm . De oorzaak hiervan kan zijn dat een groot deel zich bindt aan organisch materiaal aanwezig in de grotere fracties.

Helaas zijn de onderzoeken met name gericht op één stofgroep: namelijk zware metalen. Het is aan te bevelen om in Nederland onderzoek te doen naar de binding van verontreinigingen aan specifieke deeltjesgrootte. Zo kan worden bepaald welke deeltjesgrootte van belang is om af te vangen, als er een bepaald rendement moet worden behaald. Bij het onderzoek dient bij voorkeur ook gekeken te worden naar andere stoffen dan zware metalen.

2.1.6 DE VALSNELHEID VAN DEELTJES IN (AFSTROMEND) REGENWATER

Bezinking is een effectieve methode om zwevende stoffen te verwijderen. De valsnelheid van een stof is direct afhankelijk van de deeltjesgrootte en de dichtheid. Sommige zwevende stoffen zullen niet zonder hulp van een coagulant bezinken. Voor de bezinkingskarakteristieken van zwevende stoffen zijn een aantal factoren van belang [29]:

- Verdeling van de deeltjesgrootte (zie vorige paragrafen)
- Dichtheid van de deeltjes
- Lading
- pH van het water

DICHTHEID

Het soortelijk gewicht (of dichtheid) van de deeltjes bepaalt in belangrijke mate de valsnelheid. Voor deze parameter wordt vaak onterecht het soortelijk gewicht van zand ingevoerd. Zand bindt relatief weinig verontreinigingen. De deeltjes die veel verontreinigingen kunnen binden zijn lutum- en humusdeeltjes met een lager soortelijk gewicht.

Brombach [30] onderzocht de dichtheid van deeltjes in droogweerafvoer van een riool. Deze zijn wellicht niet geheel vertaalbaar naar de gehalten (het gaat hier ook niet zozeer om gehalten maar om dichtheid) in het afstromend regenwater, maar kunnen wegens gebrek aan overige data een indicatie geven.

TABEL 2.1

DICHTHEID VAN DEELTJES

Fractie [μm]	Verdeling [in %]	Dichtheid [kg/m^3]
<6	Na (niet aanwezig)	1060*
6-60	52	1060
60-150	36	1230
150-350	11	2200
>350	1	2650**

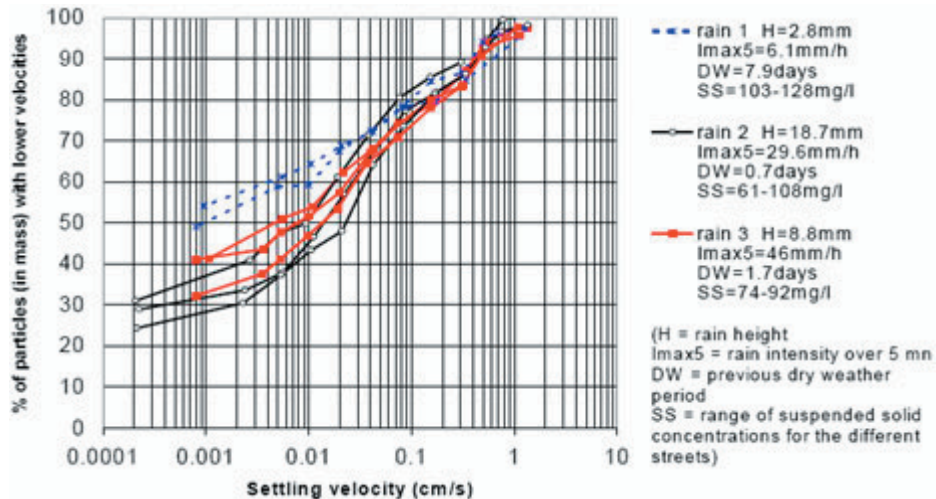
*aangenomen

**aangenomen (v.g.l. zand)

VALSNELHEID

In Parijs, in de wijk Le Marais, is een onderzoek gedaan naar de valsnelheid van deeltjes in afstromend regenwater [31]. In figuur 2.7 zien hiervan de resultaten weergegeven.

FIGUUR 2.7 VALSNELHEDEN, GEMETEN VAN STRAAT RUNOFF VAN 3 VERSCHILLENDE STRATEN EN 3 VERSCHILLENDE BUIEN [31]



Uit de grafiek kan de conclusie worden getrokken dat globaal 50 % van zwevende deeltjes een bezinksnelheid van 0,36 m/h (0,01 cm/s) of lager heeft.

De bezinksnelheden van deeltjes afkomstig van straat runoff zijn veel lager dan die zijn gemeten bij overstorten van het gemengde rioolstelsel (niet weergegeven in een figuur) [23]: de mediaan varieert van minder dan 0,001 cm/s tot 0,023 cm/s en 30 tot 57 % van de deeltjes-massa bezinkt met een snelheid bij minder dan 0,002 cm/s.

De valsnelheid van deeltjes wordt bepaald met behulp van de wet van Stoke. Childs [32] heeft gekeken naar de aannames achter de wet van Stoke en stelt dat de oppervlakte en de vorm, van de deeltjes, tot gevolg hebben dat het gebruik van de wet van Stoke beperkt dient te blijven tot deeltjes die een kleinere diameter hebben dan 60 μm [32]. Voor sediment groter dan 60 μm is het verband tussen grootte en de bezinkbaarheid complex en hangt het af van de afzonderlijke variaties die in gezamenlijke vorm en dichtheid worden gevonden [33][34].

Er is beperkt onderzoek gedaan naar de valsnelheid van deeltjes in afstromend regenwater. Hierdoor kan er geen gemiddelde worden gegeven voor de valsnelheid van deeltjes in afstromend regenwater.

Zoals uit paragraaf 2.1.5 blijkt, neemt de concentratie van de meeste verontreinigingen toe, naarmate het specifieke oppervlakte toeneemt. Deeltjes met een relatief groot buitenoppervlak (specifiek oppervlak) binden in verhouding meer verontreinigingen dan deeltjes met een kleiner buitenoppervlak. Het specifieke oppervlak is doorgaans groter naarmate de deeltjes kleiner zijn.

Deze deeltjes hebben een lagere valsnelheid waardoor het lastig is deze af te vangen. Gezien de beperkte gegevens zal bij gebrek aan meerdere gegevens de gevonden gegevens voorlopig worden aangenomen bij het modelleren.

Het is aan te bevelen om onderzoek te doen naar de valsnelheid. Daarnaast dient er onderzoek gedaan te worden naar het soortelijk gewicht van deeltjes in Nederland. Hierdoor kan er ook gekeken worden naar een verband tussen de deeltjesgrootte en valsnelheid.

2.1.7 CONCLUSIE

In regenwater kunnen alle mogelijke verontreinigingen voorkomen en in verschillende hoeveelheden. In het algemeen worden; zware metalen, PAK en minerale oliën als belangrijkste verontreinigingen gezien. Biologisch zuurstofverbruik (BZV), chemisch zuurstofverbruik (CZV) en nutriënten komen in mindere mate voor (overschrijden minder de normen) in afstromend regenwater. De concentraties waarmee deze verontreinigingen aanwezig zijn in het afstromende hemelwater hangen af van o.a. het soort afstromende oppervlak en het beheer ervan [9]. De concentraties van de verontreinigingen hebben hierdoor een grote breedte, daardoor is er geen eenduidige concentratie aan te geven. In algemene zin is er een onderscheid gemaakt in verschillende categorieën afstromend oppervlak dat een eerste richtlijn kan zijn voor de kwaliteit van afstromend regenwater.

Nationaal is er onderzoek gedaan naar de concentraties in afstromend regenwater van verschillende oppervlakte. Deze gegevens zijn verwerkt in een database [Stowa 2007]. Naast de concentraties is binnen dit project gekeken of de verontreinigingen in opgeloste of onopgeloste vorm aanwezig zijn. Op één locatie is in Nederland gekeken naar de deeltjesgrootte in afstromend regenwater, maar dit is onvoldoende om een goed beeld te krijgen van de gemiddelde samenstelling in Nederland. Naar de valsnelheid en het soortelijke gewicht van deeltjes in afstromend regenwater, zijn nationaal vrijwel geen onderzoeken voorhanden. Voor deze gegevens is men momenteel afhankelijk van internationale onderzoeken.

In de internationale literatuur zijn gegevens gevonden over de deeltjesgrootte, de binding van verontreiniging aan specifieke deeltjesgrootte, de dichtheid en de valsnelheid van deeltjes. Uit de beschikbare data, zowel bij de deeltjesgrootte als bij de binding van deeltjes, is globaal te concluderen dat gemiddeld 50 % van deeltjes kleiner is dan 100 µm en dat 50 % van de zware metalen zich binden aan deeltjes kleiner dan 100 µm, maar omdat er nog maar beperkt onderzoek is gedaan naar de valsnelheid van de deeltjes, kunnen hieruit geen eenduidige conclusies getrokken worden.

2.2 AFKOPPELEN

Het afkoppelen van verhard oppervlak is een maatregel die aansluit bij het huidige beleid. Met afkoppelen wordt bedoeld:

Het niet aansluiten of ongedaan maken van de regenwateraansluiting op het riool. Hiermee wordt het bereiken van verschillende doelstellingen op gebied van water, milieu en omgevingskwaliteit tegelijk mogelijk gemaakt [4].

De afweging voor de manieren waarop men met regenwater moet omgaan, wordt vooral gemaakt op basis van milieutechnische aspecten. De reden dat met name naar dit aspect wordt gekeken, is dat primair vastgesteld dient te worden of afkoppelen van verhard oppervlak uit milieutechnisch oogpunt wenselijk is. Het streven naar een duurzame ontwikkeling van stedelijke watersystemen speelt hierbij een leidende rol.

Onderzoek wijst uit dat de kwaliteit van het afstromende regenwater van diverse oppervlakken vaak de streefwaarden overschrijdt [22]. Dit betekent niet zozeer dat geen enkel verhard oppervlak in aanmerking komt voor afkoppelen, aangezien met deze methode op andere aspecten grote milieuwinst kan worden behaald. Wel betekent dit dat afkoppelen weloverwogen dient plaats te vinden.

Ten behoeve van de afweging worden vaak de volgende criteria gebruikt:

- Reductie van verontreinigingsvrachten
- Besparing van drinkwaterverbruik
- Het zo goed mogelijk handhaven, dan wel herstellen van het natuurlijke hydrologische systeem
- Het minimaliseren van de verspreiding van verontreinigingen in het milieu

Op basis van de genoemde criteria kan de volgende voorkeur van afkoppeltechnieken worden voorgesteld [1]:

1. Hemelwater vasthouden voor benutting
2. Water opvangen en vertragen (door bijvoorbeeld toepassing van vegetatiedaken)
3. Infiltratie en zuivering van afstromend hemelwater
4. Afstromend hemelwater afvoeren naar het oppervlaktewater
5. Afstromend hemelwater afvoeren naar de RWZI

De genoemde volgorde moet niet als dwingend worden geïnterpreteerd. Locatiespecifieke omstandigheden dienen te worden meegenomen zoals de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater alsmede de functie of het ambitieniveau ervan.

Om deze doelstellingen na te streven, dienen er voorzieningen te worden geïnstalleerd/gerealiseerd. Een selectie van de verschillende voorzieningen die er zijn staan, per categorie, vermeld in tabel 2.2.

TABEL 2.2 OVERZICHT AFKOPPELVOORZIENINGEN [1]

Afkoppeltechnieken	Voorzieningen
Bronmaatregelen (zie ook bijlage 8)	Geen uitlogende materialen, hondenuitlaatplaatsen, geen chemische bestrijdingsmiddelen
Benutting	Regenton Regenwatercloset
Vasthouden	Vegetatiedak Bezinkvijver/-bassin
'End of pipe': Bovengrondse infiltratie	Doorlatende verharding Wadi
'End of pipe': Ondergrondse infiltratie	Infiltratiesleuf en -koffer Infiltratieput en infiltratiebed
'End of pipe': Zuiveren	Bladvang en filters Bodempassage Lamellseparator Olieafscheider slibvang Helofytenfilter
Afvoer	Directe afvoer naar oppervlakte water

2.3 SCOPE VOORZIENINGEN

In deze rapportage zijn niet alle zuiverende voorzieningen behandeld, er is een selectie gemaakt uit de voorzieningen die in tabel 2.2 staan. De diverse voorzieningen zijn te categoriseren in het zuiveringsprincipe: bezinking, filtratie, adsorptie, phytoremediatie of een combinatie ervan. De volgende voorzieningen zijn behandeld in het rapport:

- Lamellseparator
- Helofytenfilter
- Bezinkbak/bezinkvijver
- Bodempassage
- Doorlatende verharding

In het rapport is een omschrijving gegeven van de voorzieningen. De werking is beschreven, de mogelijk verschillende systemen zijn belicht en de richtlijnen betreffende ontwerp, aanleg en beheer worden behandeld.

2.4 RICHTLIJNEN

In het rapport worden specifieke richtlijnen gegeven voor de zuiverende voorzieningen. Naast deze specifieke richtlijnen zijn er ook richtlijnen die in algemene zin van toepassing zijn. De richtlijnen richten zich op de verschillende fasen: het ontwerp, aanleg en beheer van de voorzieningen.

Een van de algemene richtlijn is, “Beperk het aantal verschillende zuiveringsvoorzieningen”. Uit oogpunt van beheer is het wenselijk om niet te veel verschillende zuiveringsvoorzieningen toe te passen met name als de capaciteit en of kennis binnen de beheersafdeling beperkt is. Het beheren van verschillende systemen kost veel moeite, zeker als elk systeem een ander beheerregime kent. Toepassing van verschillende soorten systemen in één wijk vergroot de kans dat de beheerder vergissingen maakt [36].

Een voorbeeld voor een tweede algemene richtlijn is, “Zorg ervoor dat de systemen zo robuust mogelijk worden ontworpen”. De systemen moeten met minimaal beheer en sturing kunnen functioneren, tegen een “stootje” kunnen en voor een lange tijd operationeel zijn.

2.5 CRITERIA

Zoals in voorgaande paragrafen is aangegeven zijn er verschillende voorzieningen die kunnen worden gebruikt bij het afkoppelen van regenwater. Om de verschillende voorzieningen met elkaar te kunnen vergelijken, moet men ze beoordelen op dezelfde criteria. De verschillende voorzieningen kunnen met elkaar vergeleken worden op de criteria die staan vermeld in tabel 2.3. Per voorziening zullen deze criteria besproken worden in de hoofdstukken.

TABEL 2.3

CRITERIA VOOR VERGELIJKING [57]

criterium
1 Investeringskosten en exploitatiekosten
2 Rendementen
3 Kosteneffectiviteit: op basis van de kosten en het rendement
4 Beheersaspecten: onderhoudsbehoefte (deskundigheid, kosten, tijd)
5 Robuustheid
6 Ruimtebeslag/inpasbaarheid in de leefomgeving/bijdrage aan leefbaarheid woonomgeving
7 Overlast

2.6 ZUIVERINGSPROCESSEN PER VOORZIENING

Bij de verschillende voorzieningen vinden verschillende processen plaats om de verontreiniging te verwijderen uit het afstromende regenwater. Er zullen veelal meerdere processen plaatsvinden, al dan niet elkaar opvolgend. In tabel 2.3 is een overzicht gegeven van de processen en voorzieningen. In bijlagen zijn de processen uitgebreid beschreven.

TABEL 2.4 DE ZUIVERENDE VOORZIENING EN DE BIJBEHORENDE ZUIVERINGSPROCESSEN

	Bezinking/ opdriving	Coagulatie/ flocculatie	Filtratie	Vastlegging (riet/ biomassa)	Bacteriële omzetting	Adsorptie en afbreken
Lamellenseparator	X	X				
Helofytenfilter	X		X	X	X	X
Bezinkvijver/bak	X	X	X/-			
Bodempassage			X	X	X	X
Doorlatende verharding			X			X

In de tabel zijn de belangrijkste zuiveringsprocessen genoemd. Vanzelfsprekend kan een wadisysteem met bodempassage zo aangelegd worden dat er ook bezinking kan plaatsvinden en kunnen processen als coagulatie ook in een helofytenfilter plaatsvinden. Ook wordt bij enkele soorten doorlatende verharding bacteriën aangebracht om het afbraakproces van verontreinigingen te optimaliseren.

2.7 FOUTIEVE AANSLUITINGEN

Nederland is grootschalig aan het afkoppelen. De laatste jaren groeit echter weer het besef dat direct afvoeren van regenwater direct op het oppervlaktewater niet zonder risico's is. Foutieve aansluitingen (DWA-lozingen op het RWA-stelsel) kunnen ongemerkt voor een behoorlijke ongezuiverde lozing op het oppervlaktewater zorgen.

Waterschappen of gemeenten vermoeden veelal dat er foutieve aansluitingen zijn. Maar waar bevinden die zich precies? En is dit een probleem? Er zijn gevallen bekend dat bijvoorbeeld net na de oplevering van een nieuwbouwwijk al 20 % van de aansluitingen foutief zou zijn.

Bij het gebruik van een grijswatercircuit kan een foutieve aansluiting leiden tot gevaar voor de volksgezondheid. Door zichtbaar het water af te voeren kunnen foutieve aansluitingen voorkomen worden. Zelfs als gekozen wordt voor een afvoersysteem met ondergrondse afvoer, kan in ieder geval op perceelniveau gekozen worden voor oppervlakkige afvoer. Hiermee wordt het risico op foutieve aansluitingen verminderd. Ondanks dat er momenteel geëxperimenteerd wordt met kosteneffectieve oplossingen om foutieve aansluitingen op te sporen (temperatuursmetingen en aanvullende monsternamen van specifieke parameters) zal dit ook na sanering een punt van aandacht blijven. Door zuiverende voorzieningen te implementeren bij risicovolle gebieden kan een waterkwaliteitswaarborg worden ingebouwd. Vanuit het zorgplichtbeginsel dienen we er onder andere voor zorgen dat het aantal foutieve aansluitingen tot een minimum beperkt wordt.

2.8 ONTVANGEND WATER

In onderstaande tabel staan de richtlijnen voor het oppervlaktewater, de concentraties die gemeten zijn in regenwater (voordat het in contact is gekomen met de oppervlakte) en de concentraties gemeten bij gemengde oppervlakte, daken en wegen. Er kan geconcludeerd worden aan de hand van de tabel, dat het regenwater in een aantal gevallen niet voldoet aan de eisen die gesteld worden aan het oppervlaktewater. De concentratiegegevens van afstromend regenwater bij daken en wegen in een woongebied zijn afkomstig uit de Stowa database regenwaterkwaliteit.

De kleur van de gemeten concentraties geeft als volgt de hoogte van de gevonden concentratie aan ten opzichte van deze MTR¹:

groen: onder of gelijk aan de MTR;

oranje: tot twee keer de MTR;

rood: meer dan twee keer de MTR.

FIGUUR 2.8

OVERZICHT CONCENTRATIES

daken									
	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Hg µg/l	Pb µg/l	Ni µg/l	Zn µg/l	PAK10 µg/l	PAK16 µg/l
gemiddelde	0,28	2,4	42	0,03	236	1,8	43	0,03	37
Mediaan	0,14	1,4	26	0,02	74	1,5	35	0,03	37
90 percentiel	1,20	7,4	150	0,05	390	3,0	110	0,03	37
aantal	16	16	16	16	16	16	16	1	1
MTR totaal	2,0	84	3,8	1,2	220	6,3	40	4,3	

	Min olie mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	BZV mg/l	CZV mg/l	Ptot mg/l	N-lj mg/l	Zw.stof mg/l	E.coli kve/100 ml
gemiddelde	146	4,2		3,0	12	1,6	0,75		
Mediaan	38	3,8		3,0	12	1,6	0,75		
90 percentiel	300	5,0		3,0	12	1,6	0,75		
aantal	17	16	0	1	1	1	1	0	0
MTR totaal						0,15	2,2		1,0E-03
						(N-30)	(Zwewater)		

daken+wegen									
	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Hg µg/l	Pb µg/l	Ni µg/l	Zn µg/l	PAK10 µg/l	PAK16 µg/l
gemiddelde	0,26	5,0	26	0,05	33	5,4	194	0,8	1,0
Mediaan	0,15	1,1	10	0,06	12	3,5	95	0,3	1,1
90 percentiel	0,49	11,0	47	0,08	75	10,0	450	1,2	1,3
aantal	151	140	168	118	154	153	169	51	23
MTR totaal	2,0	84	3,8	1,2	220	6,3	40	4,3	

	Min olie mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	BZV mg/l	CZV mg/l	Ptot mg/l	N-lj mg/l	Zw.stof mg/l	E.coli kve/100 ml
gemiddelde	37	27,0	1,0	6,7	61	0,42	2,0	49	3,4E-04
Mediaan	1	5,0	1,1	4,0	32,0	0,26	1,7	20	1,2E-04
90 percentiel	94	60	2,9	14,0	110	0,97	6,2	160	1,2E-06
aantal	149	92	60	89	78	107	100	26	26
MTR totaal						0,15	2,2		1,0E-03
						(N-30)	(Zwewater)		

De kleur van de gemeten concentraties geeft als volgt de hoogte van de gevonden concentratie aan ten opzichte van deze MTR¹:

groen: onder of gelijk aan de MTR;

oranje: tot twee keer de MTR;

rood: meer dan twee keer de MTR.

In de bovenstaande tabel worden de verschillende gegevens voor de kwaliteit van afstromend regenwater van daken en wegen in woonwijken weergegeven. Opvallend zijn de gehalten aan koper, zink, fosfaat en stikstof in het afstromende regenwater die de MTR waarden voor oppervlaktewater overschrijden.

¹ In de tabellen is ook (voorzover van toepassing) de MTR-waarde in het oppervlaktewater gegeven (Maximaal Toelaatbaar Risico¹). Bij het gebrek aan toetsingswaarden voor afstromend regenwater worden deze als indicatie weergegeven.

3

MONITORING

Inzicht in het kwantitatief en kwalitatief functioneren van de zuiverende voorzieningen is in algemene zin wenselijk. Met name als er sprake is van een nieuw product of specifieke omstandigheden (bijvoorbeeld kwetsbaar gebied of een verhoogd risico op calamiteiten) dan wordt monitoring aanbevolen (zie figuur 2.1).

Aangezien veel zuiverende voorzieningen voor regenwater nog maar net in Nederland zijn geïntroduceerd, is er nog niet veel nationale ervaring opgedaan met deze voorzieningen. Door de voorzieningen te monitoren kan bijvoorbeeld worden vastgesteld of deze voorzieningen hydraulisch of milieuhygiënisch functioneren zoals ze zijn ontworpen, wat de behaalde rendementen zijn en welk beheer nodig is om het functioneren te waarborgen. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe gemeten kan worden en welke monitoringsactiviteiten hiervoor nodig zijn. Afhankelijk van het soort voorziening en meetdoelstelling kunnen de volgende metingen wenselijk zijn:

1. Metingen naar de neerslag en de afvoer naar de voorziening
2. Meten van de waterstanden en/of waterkwaliteit bovenstrooms en benedenstrooms van de voorziening alsmede in de voorziening zelf
3. Meten van de grondwaterstanden en de grondwaterkwaliteit in de omgeving
4. Metingen naar de doorlatendheden/filtratiesnelheid van de voorziening en de afname ervan in de tijd
5. Metingen naar de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater
6. Ervaringen inventariseren van bijvoorbeeld de beheerder en omwonenden
7. Inspecties

In het kader van het project 'zuiverende werking regenwatersysteem' van stowa zijn diversen monitoringsprogramma's beschouwd waar veel aandachtspunten voor monitoring naar voren komen. Zo is het van groot belang bij het monitoren om een goede nul- of referentiemeting uit te voeren indien men het functioneren in de tijd wil gaan beoordelen.

Bij het monitoren van de voorzieningen dient bij voorkeur volgens een vast protocol gewerkt te worden. Het protocol maakt het mogelijk om monitoringen van verschillende locaties en voorzieningen met elkaar te vergelijken.

3.1 MEETPROTOCOL

STAPPENPLAN

Voor een inzicht in het functioneren van regenwatersystemen dienen grofweg de volgende stappen te worden doorlopen:

1. Inventarisatie gegevens
2. Selectie geschikte meetlocaties
3. Opstellen meetplan
4. Bemonsteringen
5. Evaluatie en interpretatie

In de volgende paragrafen worden de stappen van deze algemene werkwijze toegelicht evenals enkele praktijkervaringen en resultaten.

INVENTARISATIE GEGEVENS

Voorafgaand aan de bemonsteringen worden de kenmerken van het zuiverende regenwatersysteem, het rioolstelsel en omgeving bestudeerd, zoals:

- Regenwatersysteem (dimensies)
- Kenmerken aangesloten verhard oppervlak (dimensies, aard, materiaal en gebruik van het oppervlak, beheer)
- Kenmerken rioolstelsel (dimensies, type rioolstelsel, eventuele berging, uitlaten, poc)
- Omgeving (grondsoorten, grond- en oppervlaktewaterstanden)

SELECTIE LOCATIES

De keuze van de meetlocaties hangt af van de doelstelling van het onderzoek. Bij het selecteren van de meetlocaties is veldbezoek, waarbij de beschikbare informatie wordt geverifieerd, van groot belang alsmede de praktische mogelijkheden van het installeren van meetapparatuur. Bij het veldbezoek worden de kenmerken, gebruik en toestand van de locatie gerapporteerd evenals de (on)mogelijkheden om de bemonstering daadwerkelijk uit te voeren.

Belangrijke beperking voor meten is de wijze waarop de uitlaten naar het oppervlaktewater zijn geconstrueerd. Bij gescheiden stelsels betreft het in veel gevallen uitlaten die in permanente verbinding staan met het oppervlaktewater ('verdronken stelsels').

Omdat gestreefd wordt naar een zo nauwkeurig mogelijke meting van de waterstromen dient een meetplan opgesteld te worden waarin alle details en procedures worden beschreven. De praktische kant dient hierbij tot in detail aandacht te krijgen. Zo ontbreekt het soms aan faciliteiten als elektriciteit zodat de gewenste bemonsteringsapparatuur niet volstaat en creativiteit noodzakelijk is om op de diverse locaties de metingen praktisch uit te kunnen voeren.

OPSTELLEN MEETPLAN

In het meetplan dienen diverse aspecten te worden vastgelegd zoals:

1. Gebiedsomschrijving (zoals eerder genoemd: kenmerken, gebruik en beheer oppervlak alsmede het materiaalgebruik en activiteiten) en rioolstelsel
2. Meetlocaties
3. Meetmethode
4. Te bepalen parameters (debeten, waterstanden, neerslag, kwaliteitsparameters, deeltjesgrootte)
5. Meetopstelling
6. Beoogde meetduur

7. Logboek (verslaglegging van verrichte acties ten aanzien van het meetplan maar ook eventuele calamiteiten en het beheer van het verharde oppervlak zoals onkruid- en/of gladheidbestrijding en databeheer van het stelsel)

Aandacht verdient ook de organisatie en verantwoordelijkheden (bijvoorbeeld ten aanzien van; beheer apparatuur, beschikbaarheid van personen, verificatiemogelijkheden van de metingen, het bijhouden van een logboek, veiligheid, verslaglegging en de financiën).

Aandacht vereist ook het gegevensbeheer. Het verdient aanbeveling de resultaten van een onderzoek tussentijds te evalueren zodat fouten vroegtijdig worden opgemerkt en op basis van de eerste resultaten het meetplan kan worden geëvalueerd en eventueel aangepast.

De meetduur valt op voorhand niet vast te leggen aangezien deze afhankelijk is van klimatologische omstandigheden. Vaak zijn meerdere buien nodig om het kwantitatief en kwalitatief functioneren van een regenwatervoorziening vast te leggen om uitspraken te doen over het functioneren van de regenwatervoorziening onder verschillende (weers)omstandigheden. Daarbij is het gewenst om buien van een verschillende intensiteit te bemonsteren.

In de praktijk blijkt de vereiste meetduur veel langer dan de beoogde meetduur doordat veel tijd gaat zitten in het inregelen van de apparatuur en de constatering dat het werkelijk functioneren van de voorziening niet overeenkomt met het theoretisch functioneren (modeluitkomsten). In het algemeen wordt de meetduur ook langer vanwege onvoorziene factoren als; softwarefouten, vandalisme en/of diefstal van apparatuur, of uiteenlopende omstandigheden als doorgeknaagde kabels door ratten en blikseminslag. Het aantal bemonsterde buien hangt af van de meetdoelstelling maar helaas ook van het beschikbaar budget, als minimum kan drie buien worden aangehouden waaruit de spreiding van de resultaten inzichtelijk wordt en waarop vervolgonderzoek kan worden overwogen.

Voor de analyses kan er in eerste instantie voor gekozen worden om een groot aantal parameters te bepalen. Hierbij dienen de stoffen die naar verwachting bij specifieke activiteiten op het verharde oppervlak of bij productieprocessen vrij kunnen komen in de analyse te worden meegenomen. Afhankelijk van de resultaten kan het aantal parameters bij vervolgmetingen worden beperkt. Zo komen veel analysesresultaten van bestrijdingsmiddelen en/of gechlorideerde koolwaterstoffen meestal niet boven de detectiegrenzen uit. Deze relatief dure analyses kunnen na verificatie bij vervolgmonsternamen achterwege gelaten worden tenzij op basis van verwachting deze stoffen kunnen worden gedetecteerd.

BEMONSTERING

Voor het bepalen van de kwaliteit van regenwaterstromen in en in de omgeving van de zuiverende voorziening zijn diverse monsternamemethodieken beschikbaar. Veel gebruikte methoden om de kwaliteit van waterstromen te bepalen zijn:

1. Steekmonsters
2. (Semi-)volume proportionele bemonstering
3. Tijdsproportionele bemonstering
4. 'Continue' bemonstering op basis van enkele parameters

De gekozen meetmethode is van groot belang aangezien de meetfrequentie onder andere afhankelijk is van het type meting, de weerstoestand, de toestand in de voorziening en de gewenste nauwkeurigheid. Wanneer bijvoorbeeld uit een niveaumeting een influentdebiet en/of overloopdebiet moet worden bepaald, stelt dit hogere eisen aan de nauwkeurigheid en frequentie van de niveaumeting alsmede de kenmerken van de overloopconstructie (meetgoot, waterpas overstortmes, bepaling Q_h -kromme).

De keuze voor de bemonsteringsmethode is in de praktijk meestal een afweging op basis van vereiste (financiële) inspanningen. Een steekmonster is bijvoorbeeld eenvoudig en tegen lage kosten uitvoerbaar waarbij geen randvoorwaarden voor de apparatuur hoeft te worden opgesteld. Men dient wel op het goede moment ter plaatse te zijn om de monsternamen te verrichten, dit vereist grote of onmogelijke inspanningen.

Proportionele monsternamen geeft een gedetailleerder beeld van de vuilemissie in de tijd of het debiet. Hieruit kunnen aanvullende conclusies worden verbonden zoals de al dan niet aanwezigheid van een first- of last flush effect. Aangezien echter uit diverse onderzoeken naar voren komt dat per onderzoekslocatie of gemeten bui de minimale en maximale concentraties sterk uiteenlopen is de waarde van momentopnames met steekmonsters meestal beperkt.

Continue bemonstering met een hoge meetfrequentie geeft veel informatie van de waterkwaliteit maar kan slechts op basis van enkele parameters worden gegenereerd (bijvoorbeeld troebelheid, droge stof, geleidbaarheid, zuurstof). Met bijvoorbeeld het meten van troebelheid waarmee een relatie wordt gelegd met het zwevend stofgehalte en CZV worden in gemengde rioolstelsels momenteel redelijk betrouwbare resultaten geboekt waarmee een gedetailleerd inzicht tegen relatief lage (financiële) inspanningen van de vuilemissies wordt verkregen. Hierbij dienen overigens nog wel steekmonsters van het afvalwater te worden genomen om een relatie te bepalen, de relatie kan namelijk stelsel- en/of zelfs overstortlocatie afhankelijk zijn.

De ontwikkelingen van meetsensoren en toepassing ervan gaan echter snel.

3.2 WELKE STOFFEN BEMONSTEREN?

Welke stoffen gemonitord moeten worden is afhankelijk van de categorie oppervlak of het type voorziening, de locatie en de aangetroffen verontreinigingen. In principe kunnen heel veel stoffen gemeten worden maar dit is kostentechnisch vaak niet wenselijk. In de volgende tabel is een lijst opgenomen van veel gemeten stoffen waarbij onderscheid gemaakt is tussen de monitoring van water, slibmonsters en bodem.

TABEL 3.1 MOGELIJKHEDEN VAN DE TE BEMETEN STOFFEN (MINIMUM PAKKET)

Stof	eenheid	minimum pakket		
		water	slib	bodem
arseen	[µg/l]	w		b
cadmium	[µg/l]	w		b
chrom	[µg/l]	w		b
koper	[µg/l]	w		b
kwik	[µg/l]			b
lood	[µg/l]	w		b
nikkel	[µg/l]	w		b
zink	[µg/l]	w		b
BTEX (indicator aromaten)	[µg/l]	w		b
naftaleen	[µg/l]	w		
PAK(10)-totaal	[µg/l]			b
EOX (indicatie Cl-pesticiden en pcb's)	[µg/l]	w		b
Stikstof	[mg/l]	w		
fosfaat	[mg/l]	w		
minerale olie	[µg/l]	w		b
pH		w		
EGV	[µS/cm]	w		
kleur		w		
troebelings		w		
gloeirest van onopgeloste bestanddelen (%)	[%]		s	b
drooggewicht (mg/l)	[mg/l]		s	b
Korrelgrootteverdeling			s	
Slibdikte			s	
lutumgehalte	%		s	b

3.3 MEETFREQUENTIES

In onderstaande tabel zijn indicatieve waarden voor de registratie-tijdstep (Δt) gegeven. Hierbij is een indicatie voor de meetfrequentie bij regenwatersystemen weergegeven (hydraulisch functioneren tijdens regenachtige weersomstandigheden).

TABEL 3.2 INDICATIEVE WAARDEN VOOR REGISTRATIE-TIJDSTAP (RIONED (2002), METEN EN BEREKENEN RIOOLSTELSELS)

	Te registreren parameter	Wijze van opslag	RWA
Verpompt volume	Debiet	Cumulatief	5 min.
Overstortingsvolume	Niveau	Moments	1-3 min.
Neerslag	Neerslag	Cumulatief	5 min.
Rioolwaterstand	Niveau	Moments	5 min.
Oppervlaktewaterstand	Niveau	Moments	15-60 min.
Grondwaterstand	Niveau	Moments	Dag

3.4 SPECIFIEKE METINGEN PER TYPE ZUIVERENDE VOORZIENING

Afhankelijk van het soort voorziening kunnen de volgende metingen wenselijk zijn:

KWANTITEIT

1. Kwantitatieve metingen naar de neerslag en de (maximale) afvoer naar de voorziening
2. Meten van de waterstanden boven- en benedenstreams van de voorziening en in de voorziening zelf

KWALITEIT

3. Meten naar de waterkwaliteit boven- en benedenstreams van de voorziening en in de voorziening zelf
4. Meten van de grondwaterstanden en de grondwaterkwaliteit in de omgeving
5. Metingen van de doorlatendheden/filtratiesnelheid van de voorziening en de afname ervan in de tijd
6. Metingen van de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater
7. Meten van de (kwaliteit en samenstelling) van de sliblaag in de voorziening
8. Metingen van de kwaliteit van hemelwater en afstromend regenwater

OVERIG

9. Vragen omwonenden naar ervaringen
10. Regelmatige inspecties
11. Logboek

Er valt onderscheid te maken in metingen die minimaal nodig zijn om het functioneren van een voorziening te beoordelen (bijvoorbeeld punt 1) en metingen die als 'extra' kunnen worden beschouwd (bijvoorbeeld punt 7,8: vaak relatief dure metingen).

TABEL 3.3 GEWENSTE METINGEN

Voorzieningen	Principes	Specifieke metingen	Gewenste metingen
Bezinkvijver/ -bassin	Bezinking	Korrelgrootte, slibaanwas	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 1,2,3,6,7,8,9,10,11
Doorlatende verharding	Filtratie	Doorlatendheid	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11
Wadi/bodempassage	Filtratie/adsorbtie	Doorlatendheid	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11
Lamellenseparator/Olieafscheider slibvang	Bezinking, opdrijven	Korrelgrootte, slibaanwas	1,2,3,6,7,8,9,10,11
Helofytenfilter	Filtratie/adsorbtie phytoremediatie	Doorlatendheid, opname gewassen	1,2,3,6,7,8,9,10,11

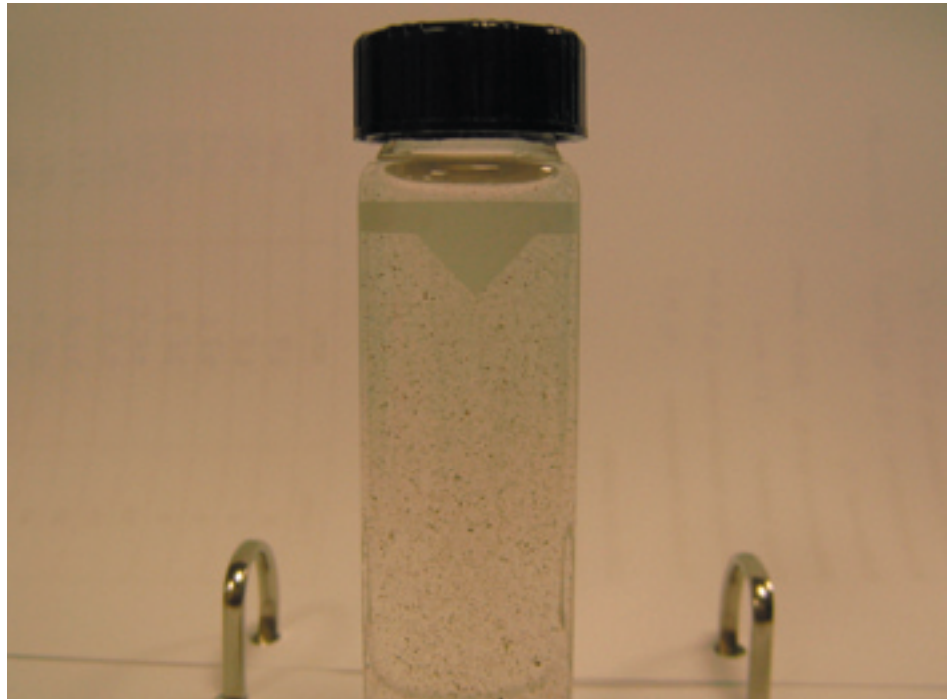
Enkele algemene aanbevelingen vanuit ervaring:

- Het is van groot belang bij monitoring om een goede nul- of referentiemeting uit te voeren indien men het functioneren in de tijd wil gaan beoordelen
- Gezien de grote variaties in waterkwaliteit per locatie of zelfs binnen een bui kunnen geen eenduidige conclusies worden getrokken over het rendement van een voorziening op basis van steekmonsters. Continue metingen zijn sterk aan te bevelen
- Niet alleen de kwaliteit is van belang om een goede uitspraak te doen, er dient ook inzicht te zijn in het debiet (totaal en maxima) dat door de voorziening is gestroomd bijvoorbeeld voor het berekenen van de vuilemissie

- Er dient een onderzoeksplan opgesteld te worden waarin tot in detail de meetmethodiek staat beschreven, maar ook praktische zaken als het beheer van de apparatuur en verantwoordelijkheden voor het verwerken van data
- In de praktijk blijken er vaak ontoelaatbare en/of onverklaarbare afwijkingen en fouten in datasets te zitten waardoor die, indien de data niet direct wordt geïnterpreteerd, het achteraf achterhalen van de oorzaken vaak niet meer mogelijk is. Verwerk data tijdig, bezoek de meetinrichting regelmatig en hou een logboek bij (onderhoud, storingen, et cetera)
- De onderzoeksresultaten moeten niet in de kast worden gezet maar de kennis moet worden gedeeld, zodat anderen hun voordeel hiermee kunnen doen

FIGUUR 3.1

KOLOMPROEVEN TU DELFT, BEZINKSNELHEDEN IN BEELD GEBRACHT



4

LAMELLENSEPARATOR

Een lamellenseparator is een betonnen of kunststof constructie, waarin met platen of lamellen een relatief groot bezinkoppervlak is gecreëerd zodat in een betrekkelijk kleine voorziening toch een aardig bezinkrendement wordt verwacht. Er zijn verschillende systemen beschikbaar die zich onder andere onderscheiden door de plaatsing van de lamellen. Het betreft een relatief nieuw zuiveringsprincipe als toepassing bij riolering in Nederland waardoor er nog niet veel gegevens bekend zijn. Voor de constructie en aanlegkosten van een gemiddelde voorziening per m² aangesloten oppervlak kan een spreiding van EUR 3,10-EUR 5,70 worden aangehouden. De rendementen die te behalen zijn met deze voorziening zijn ontwerp en locatiespecifiek en er is nog niet veel praktijkonderzoek beschikbaar (huidige resultaten in de orde van 28-60 %), over de kosteneffectiviteit is daarom nog geen duidelijke uitspraken te doen.

Voor het ontwerp zijn diverse ontwerpcriteria in omloop. Een veelgebruikt ontwerpdebiet is 14 l/s/ha (5 mm/h) waarbij de oppervlaktebelasting (S_o) ≤ 1 m/h dient te zijn. Hierbij wordt uitgegaan dat 90 % van het afstromende water behandeld wordt door de lamellenfilter en de rest direct op het oppervlaktewater 'gebypassed' mag worden. .

Het beheer van de voorziening bestaat uit het verwijderen van slib, verwijderen van de drijfslag en het inspecteren van de onderdelen. In de praktijk blijkt dat de voorziening niet altijd schoon van vuil en zand bij aanleg in gebruik wordt gesteld. Na de aanleg dient de voorziening daarom meteen gereinigd te worden. Zo wordt voorkomen dat het lamellenpakket verstopt raakt door slib dat zich tijdens de bouw mogelijk in het systeem terecht is gekomen.

4.1 DEFINITIE

Voor een eerste beeldvorming is hier onderstaand een definitie gegeven van een lamellenseparator:

Een lamellenseparator is een voorziening waarmee verontreinigingen uit het hemelwater kunnen worden verwijderd door middel van bezinking en opdrijving. Het bezinkingsoppervlak wordt vergroot door het plaatsen van de lamellen. Daarnaast zorgen de lamellen voor laminaire stroming. Beide effecten dragen bij aan een verbeterde bezinking en opdrijving [98].

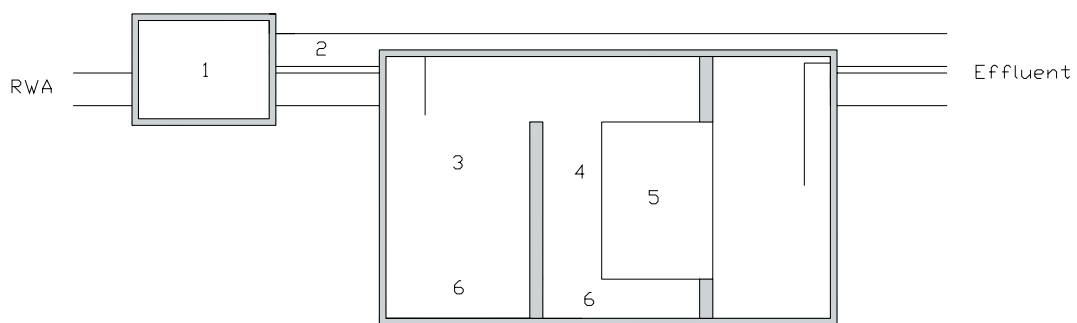
Naast de term lamellenseparator worden in de literatuur ook de termen lamellenfilter en lamellenafscheider gebruikt.

4.2 WERKING

Een lamellenseparator is een betonnen of kunststof constructie, waarin verschillende onderdelen kunnen voorkomen (figuur 4.1) [39]:

1. *Begrenzen van het debiet*: zorgt ervoor dat de afscheider tot maximaal het ontwerpdebiet wordt belast de vorm is afhankelijk waarvoor gekozen wordt, dit kan gebeuren doormiddel van een debietbegrenzer, pompput of de ingaande buisdiameter (optioneel)
2. *Bypass voor surplus*: het surplus krijgt een omleiding via een bypass rechtstreeks naar het oppervlaktewater (optioneel)
3. *Zand/slibopvang*: voorafscheiding en stroomverlamming
4. *Afscheidingscompartiment*
5. *Het lamellenpakket* voor bezinking en coalescentie. De vorm is per producent verschillend, daarom is deze schematische weergegeven
6. *Slibbuffer*: opslag voor afgescheiden slib (optioneel)

FIGUUR 4.1 SCHEMATISCHE DOORSNEDE LAMELLENSEPARATOR, MET STROOMRICHTING WATER [40]

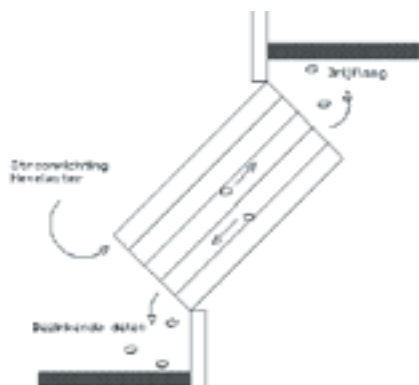


Het hart van de lamellenseparatoren is het lamellenpakket. Dit is een pakket platen, of een honingraatpakket, waar het water doorheen stroomt en is gemaakt van roestvrijstaal of kunststof. In het lamellenpakket wordt het effectieve bezinkoppervlak c.q. opdrijfoppervlak vergroot (in paragraaf 2.4 zal dit, bij de processen bezinken en opdrijving, worden beschreven). Daarnaast zorgt het lamellenpakket voor laminaire stroming (Reynoldsgetallen $Re < 2000$) [41]. Beide effecten dragen bij aan een verbeterde bezinking.

Lamellenfilters halen deeltjes uit het water die zwaarder of lichter zijn dan water [42]. De verontreinigingen glijden langs deze lamellen naar boven of naar beneden afgevoerd (zie figuur 4.2, dit is een detail van onderdeel 6 in figuur 4.1) [41]. Door het lamellenpakket zo te plaatsen dat door middel van de zwaartekracht of opdrijvende kracht de verontreinigingen uit het pakket verwijderd kunnen worden, komen de verontreinigingen in de slibbuffer of de drijfslag.

FIGUUR 4.2

DETAIL SCHUIN GEPLAATST LAMELLENPAKKET [40]



Een lamellenafscheider creëert in een kleine ruimte een zeer groot bezinkingsoppervlak. Als de afstand tussen de lamellen klein genoeg is, kunnen verontreinigingen samenklonteren (coalescentie, coagulatie en flocculatie) zodat ze makkelijker opdrijven of bezinken. Zo kunnen veel bezinkbare stoffen en olie worden verwijderd uit het water. De motor hierachter is de zwaartekracht; er zijn geen elektrische of mechanische onderdelen nodig. Het slib zakt langs de lamellen naar de eronder gelegen slibbuffer [39].

4.3 LAMELLENSYSTEMEN

Er zijn een drietal lamellensystemen te onderscheiden, die verschillen in de plaatsing van de lamellen. De afmetingen van de lamellenpakketten en het materiaal verschillen per ontwerp en producent. De volgende systemen zijn te onderscheiden [43]:

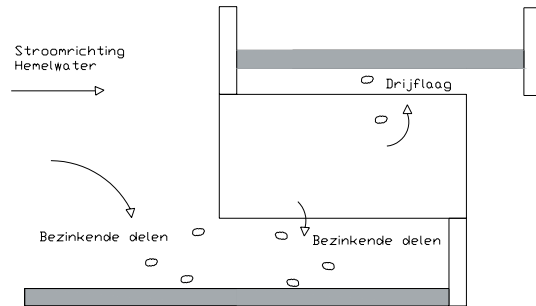
1. *Schuin geplaatste lamellen*

Diagonale lamellen die onder een hoek van bijvoorbeeld 55 tot 60 graden in een put geplaatst worden (figuur 4.2). Er zijn hiervan twee uitvoeringen: 1. meestroomsysteem en 2. tegenstroomsysteem. In de praktijk wordt alleen het tegenstroomsysteem toegepast. Dit systeem heeft een voorbezinkruimte waar de grote delen bezinken. Hierna stroomt het water van onder naar boven door het diagonaal geplaatste lamellenfilter. Terwijl het water tussen de lamellen naar boven stroomt, zetten de slibdeeltjes zich af op het schuine plaatoppervlak (figuur 4.2). De bezonken deeltjes binden zich tot grotere deeltjes en zakken tegen de stromingsrichting van het water in omlaag naar de bezinkruimte.

2. *Horizontaal geplaatste lamellen*

Ook hier wordt weer gebruik gemaakt van een voorbezinkruimte. Het lamellenpakket wordt in dit geval horizontaal geplaatst (figuur 4.3). Het lamellenpakket zorgt tussen de platen onderling voor laminaire stroming waardoor olie opdrijft en de slibdeeltjes afzinken. Producenten kiezen er soms voor om gaten in de lamellen te maken, waardoor de verontreinigingen bezinken of opdrijven en niet blijven liggen op de lamellen.

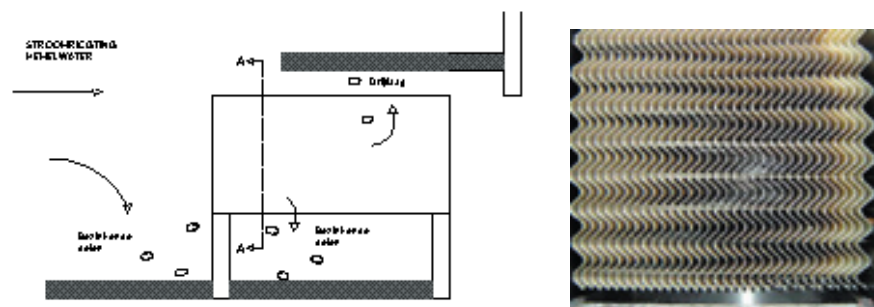
FIGUUR 4.3 DETAIL ZIJAAZICHT HORIZONTAAL GEPLAATSTE LAMELLEN



3. Verticaal geplaatste lamellen

Ontwikkeld voor de petrochemische industrie en ook toepasbaar voor het afkoppelen van regenwater, met als doel olie en slibdeeltjes af te vangen. De lamellen bestaan nu uit verticaal geplaatste golfvormige platen. In vergelijking met het horizontale systeem, zijn de platen 90o gedraaid. De slibdeeltjes worden dwars op de doorstromingsrichting afgescheiden waardoor de bezinking niet negatief beïnvloed wordt door de stroming (figuur 4.4). Door de laminaire werking zinken de slibdeeltjes sneller af naar beneden en worden opgevangen in een afgesloten ruimte (hopper) onder de lamellen, in de put. Omdat er in deze ruimte geen stroming is, blijven ook lichte slibdeeltjes hier achter.

FIGUUR 4.4 DETAIL ZIJAAZICHT VERTICAAL GEPLAATSTE LAMELLEN EN HET VERTICALE LAMELLENPAKKET (DWARSDOORSNEDE A-A)



4.4 CRITERIA

Om de verschillende voorzieningen met elkaar te vergelijken zal bij elk van de voorzieningen gekeken worden naar dezelfde criteria.

4.4.1 INVESTERINGSKOSTEN EN EXPLOITATIEKOSTEN

De kosten zijn sterk afhankelijk van het ontwerp, de grootte (toegepaste uitgangspunten) en de toegepaste onderdelen. Ter indicatie worden hieronder enkele kosten uit literatuur vermeldt:

- Volgens de Leidraad Riolering D1100 bedragen de kosten van een lamellenfilter in 2004 ongeveer 6 euro/m² aangesloten verhard oppervlak
- De investeringskosten van een lamellenfilter variëren tussen de EUR 1,55 en EUR 2,70 per m² verhard oppervlak [98]
- De kosten voor de aanleg plus voorziening variëren tussen de EUR 3,10 en EUR 5,70 per m² verhard oppervlak. Dit blijkt uit een offerteaanvraag voor eenzelfde locatie bij verschillende producenten. Als uitgangspunt is een ontwerpdebiet van 14 l/s/ha genomen, van dit debiet moet 90% door de voorziening behandeld worden [98]

- De aanlegkosten voor een lamellenafscheider in Arnhem-Zuid bedragen EUR 45.000,- (incl. lamellenafscheider) voor een oppervlakte van 3,8 ha. Dit komt neer op EUR 1,18 per m² verhard oppervlak

4.4.2 RENDEMENT

Er zijn nog niet veel praktijkonderzoeken voorhanden. Eenduidige rendementen zijn niet te noemen aangezien deze sterk locatieafhankelijk zijn. Locatieafhankelijke kenmerken zijn: het ontwerp, het gebruik en beheer van de voorziening. In productfolders van leveranciers worden rendementen weergegeven die als indicatie kunnen dienen. Deze rendementen dienen als indicatie gezien te worden omdat ze niet allen afkomstig zijn van nationaal onafhankelijk praktijkonderzoek die een op een vertaalbaar zijn naar de Nederlandse situatie en het vakgebied riolering.

In tabel 4.1 staan de rendementen marges genoemd uit productfolders.

TABEL 4.1

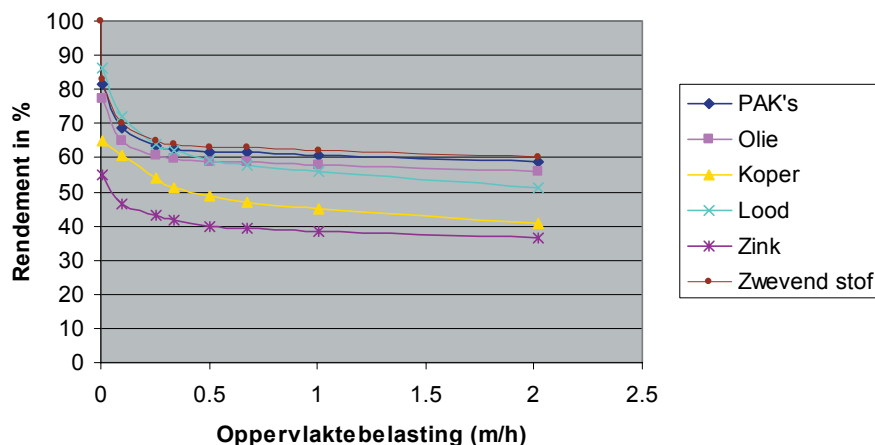
RENDEMENTEN FACET EN AQA

Verwijderingsrendement %		Effluentwaarde mg/l	
Zwevende delen	70-95	Zwevende delen	<15-<30
CZV	60-95	CZV	<50-<90
BZV	60-95	BZV	<15-<30
Totaal stikstof	45-70	Koolwaterstoffen	<1
Koolwaterstoffen	57-99,9	Zware metalen tot	<0,1-<0,2
Zware metalen tot.	98	Zink (µg/l)	<100-<150
Lood	68-80		

Als men gebruik maakt van de beschikbare kwaliteitsgegevens van regenwater zoals beschreven in paragraaf 2.1 en de standaardformules van Stokes en Kluck kan men indicatief het rendement bepalen bij een gegeven oppervlaktebelasting. De oppervlaktebelasting is een functie van het debiet en het bezinkoppervlak ($S_o = Q/A$). Dit is een theoretisch rendement. Meer onderzoek is nodig om deze curves verder te onderbouwen.

FIGUUR 4.5

ZUIVERINGSRENDEMENTEN PER OPPERVLAKTEBELASTING BIJ EEN DEBIET VAN 14 L/S/HA [98]



² Gemeente Arnhem (2005), Reductie vuilemissie regenwaterriolen en opsporen foutsluitingen, Arnhem

Zoals eerder vermeld is er nog niet veel praktijkonderzoek beschikbaar. Enkele rendementen staan hieronder opgesomd:

- Een langdurig onderzoek in Arnhem laat zien dat er een gemiddeld rendement van 28 % wordt behaald voor onopgeloste deeltjes²
- In Hoorn is er tweemaal een steekmonster van drie locaties in de lamellenfilter genomen om het rendement globaal in te schatten. Hieruit bleek dat er een gemiddeld rendement werd behaald van 53% voor onopgeloste deeltjes³

4.4.3 BEHEERSASPECTEN

Het beheer aan een lamellenfilter bestaat voornamelijk uit het verwijderen van slib en drijf-laag en het controleren van de vitale delen. De frequentie waarmee dit gebeurt, is afhankelijk van het aangesloten oppervlak. Er dient te worden uitgegaan van een maandelijks controle direct na de aanleg. Mocht hieruit blijken dat de voorziening niet snel vervuult dan kan men in de regel volstaan met een frequentie van 1 à 2 maal per jaar. Dit zal dan neerkomen op dezelfde frequentie als het kolkenreinigen. De reinigingsfrequentie kan worden beïnvloed met de dimensionering van de separator. Een grotere slibbuffer zorgt bijvoorbeeld voor een lagere reinigingsfrequentie.

Het onderhoud kost circa EUR 0,02 per m² aangesloten verhard oppervlak (leidraad D1100).

4.4.4 ROBUUSTHEID

De filters in de lamellenfilters zijn in het algemeen gevoelig voor verstopping. De kans op verstopping kan worden verkleind door het toepassen een vuilrooster. Bij systemen waar geen bypass en begrenzer van het debiet (debietgrenzer, pompgemaal etc.) is toegepast, bestaat de kans dat bij een debiet hoger dan het ontwerpdebiet, het bezonken slib opwoelt en mee naar buiten stroomt, met als gevolg een hoge concentratie verontreiniging in het oppervlaktewater.

De voorziening behaalt wel een hoger rendement naarmate de concentratie verontreiniging in het water hoger is.

4.4.5 RUIMTEBESLAG/INPASBAARHEID

Lamellenfilters zijn voorzieningen die onder de grond worden geplaatst en relatief klein van formaat zijn door een hoger bezinkoppervlak ten opzichte van reguliere bezinkbakken. Hierdoor nemen ze een beperkte ruimte in beslag en zijn ze vaak goed inpasbaar in dichtbebouwd gebied. Bij een versterkte constructie is het ook mogelijk ze in de rijweg te plaatsen.

4.4.6 OVERLAST

De voorziening is afgesloten en ligt onder de grond en zal daarom in de regel niet voor stankoverlast zorgen. Naast dat de voorziening niet voor stank zorgt, zitten er vaak ook geen onderdelen in die een hinderlijk geluid maken. Hierdoor ondervinden bewoners geen geluidsoverlast van een lamellenfilter.

³ Rombout, J. (2007). Aanvullende monitoring lamellen Hoorn. Amsterdam

4.5 RICHTLIJNEN

4.5.1 ONTWERP

- De ontwerprichtlijnen zijn gerelateerd aan:
 - De hoeveelheid water die behandeld moet worden
 - Functioneren van de voorziening en inzameling (bijvoorbeeld berging en poc-riolering)
- Bij het ontwerp wordt vaak met enkele van de hieronder weergegeven richtlijnen gerekend:
 - De voorziening kan worden ontworpen op een ontwerpdebiet van minimaal 5 mm/h (14 l/s/ha)
 - Bij een maatgevend debiet van 5 mm/h moet worden voldaan aan de ontwerppeis van $S_o = 1\text{m/h}$ ($S_o = \text{oppervlaktebelasting} = Q/A$, 'A' is hierbij het bezinkoppervlak)
 - De voorziening kan zo ontworpen worden dat 70-90% van het afstromende water behandeld wordt door de lamellenfilter. Hierbij is 70% analoog aan het percentage dat gemiddeld op jaarbasis via het verbeterd gescheiden stelsel naar de zuivering wordt afgevoerd
 - Om opwoeling te voorkomen dient de schuifspanning niet boven de 0,10-0,25 N/m² komen (WRW 2004, beslisboom aan- en afkoppelen, Aanvulling bezinkvoorzieningen voor regenwater)
 - De verdeling van deeltjes, de dichtheid en de binding aan deeltjes, uit paragraaf 2.1 zijn samengebracht in figuur 4.6. Het rendement is bepaald op basis van Stokes zowel als Kluck. Het rendement is bepaald voor een oppervlakte van 1 ha en een debiet van 14 l/s/ha, wat neer komt op 50 m³/h.
- Om het lamellenpakket goed te laten functioneren, moet het systeem aan een aantal eisen voldoen waarbij met het ontwerpen van de voorzieningen rekening gehouden dient te worden [41]:
 - Het aanvoersysteem moet het water gelijkmatig verdelen over het lamellenpakket
 - Het naar de lamellen stromende water moet al zo rustig mogelijk zijn
 - Grove delen mogen niet in het pakket blijven hangen, dit verslechtert de zuiverende werking
 - Het afgevangen slib moet opgeslagen worden op een zodanige wijze dat het niet meer kan worden opgewoeld
- Om de voorzieningen goed te laten functioneren, dient erop een aantal onderdelen gelet te worden. Door het debiet te begrenzen doormiddel van een debietbegrenzer, een pomp-gemaal, de inkomende buisdiameter aan te passen (klein te houden) en of een bypass toe te passen (figuur 4.1 nr. 1-3) wordt er voor gezorgd dat de lamellenseparator wordt belast met een debiet niet hoger dan het ontwerpdebiet. Voor het afscheidingscompartiment (figuur 4.1 nr. 6) kan een grofvuilrooster worden geïnstalleerd, hiermee wordt voorkomen dat het lamellenpakket verstopt raakt. Onder het lamellenpakket moet voldoende ruimte zijn om het slib wat afkomstig is uit het afstromende regenwater op te vangen in een stromingsluwe ruimte, zodoende blijft het afgevangen slib achter in de voorziening. Voor de berekening van de hoeveelheid slib wordt verwezen naar het wRw rapport
- Leg de ontwerp- en aanleggegevens van de lamellenfilter goed vast. Omdat het ontwerp van een lamellenseparator tot op heden niet gestandaardiseerd is, en het ontwerp bovendien afhankelijk is van de locatie, moeten beheerders ontwerpgegevens, de revisie van de aanleg, eventuele nulmetingen, opleveringsinspecties en uitgevoerd onderhoud goed vastleggen. Alleen op basis van die gegevens kunt u het functioneren van een voorziening beoordelen

- Vraag ervaringen en garantie bij leveranciers.
Omdat de kennis van en de ervaring met lamellenseparatoren nog beperkt is, kunt u er bewust voor kiezen om de leverancier om garantie en ervaringen te vragen
- Wees alert bij toepassing van zuiveringsvoorzieningen op locaties met veel bomen.
Bladeren kunnen leiden tot verstopping in de lamellenseparator. Hiermee dient rekening gehouden te worden bij de inlaat van de voorziening. Hier dienen maatregelen genomen te worden om het regenwater voor te zuiveren
- Stem het ontwerp af op het beheer.
Een lamellenfilter moet bij voorkeur zo ontworpen worden dat de eigen organisatie de voorziening goed kan onderhouden. Stem uw ontwerp af op het aanwezige materieel en op het gebruikelijke beheerregime
- Bepaal welke voorzuivering nodig is.
Door vooraf te bepalen welke runoff van het afstromend oppervlak naar de lamellenseparator getransporteerd wordt, kunt u de juiste voorzuivering aanbrenge. Daarmee voorkomt u dichtslibben. Bij lage concentraties sediment is een kolk met zandvang veelal voldoende. Alternatieven zijn kolkfilters en grotere zandvangsers
- Breng inspectiemogelijkheden aan.
U zult af en toe moeten inspecteren of een infiltratievoorziening goed werkt. Zorg dat bijvoorbeeld de waterstand en eventueel aanwezig slib zichtbaar zijn. Bij lamellenfilters kan dit gedaan worden door deksel te integreren in de voorziening. Deze inspectievoorzieningen kunnen ook als bemonsteringsmogelijkheid worden gebruikt en om de lamellenseparator, al dan niet beperkt, te reinigen [36]
- De grootte van de slibbuffer kan de inhoud van de lamellenafscheider beïnvloeden. De volgende aspecten bepalen de grootte van de buffer [41]:
 - Concentratie aan zwevende stof in het afstromende water
 - Verwijderingsrendement afscheider
 - Drogestofgehalte bezonken slib
Het drogestofgehalte bepaalt hoeveel volume het slib inneemt.
 - Ledigingsfrequentie slibbuffer
De frequentie waarmee de buffer geleegd wordt zal in het algemeen 1 à 2 keer per jaar bedragen. Als men het slib automatisch uit de voorziening laat pompen, is slechts een beperkte buffercapaciteit nodig

4.5.2 AANLEG

- Sluit de voorziening zo laat mogelijk aan.
Het heeft de voorkeur om lamellenseparatoren pas aan te leggen in de fase van het woonrijp maken. Tijdens en na het bouwrijp maken kunnen de voorzieningen namelijk vol raken met bouwafval, zand en beschadigd raken [36]
- Meteen na de aanleg moet de voorziening gereinigd worden hiermee wordt voorkomen dat in een vroeg stadium het lamellenpakket verstopt raakt en er een sliblaag in de lamellenseparator ontstaat
- De aansluiting tussen de pvc-buis en de voorziening kan het best gebeuren met behulp van een flexibel aansluitingstuk. Hiermee wordt voorkomen dat bij eventuele zetting de pvc-buis breekt
- Bij de aanleg moet er rekening gehouden worden met de in- en uitlaat van de voorzieningen. Veelal staat op de put genoteerd wat de inlaat en uitlaat is, indien dit niet het geval is, moet er gelet worden hoe de voorziening aangesloten wordt

4.5.3 BEHEER

- Het beheer van de voorziening bestaat uit het verwijderen van het slib uit de voorziening en het controleren van de vitale onderdelen. De reinigingsfrequentie is afhankelijk van de keuzes die bij het ontwerp zijn gemaakt. Ook kan er gekozen worden voor het automatisch verpompen van het slib. Het reinigen van de voorziening kan gedaan worden door een kolkenreiniger. Het ontwerp van de put moet dan wel het gebruik van de standaard reinigungsapparatuur toelaten [41]
- Wanneer de voorziening net gerealiseerd is moet deze regelmatig geïnspecteerd worden. Door in het beginstadium de werking van de voorziening te controleren, kan de beheercyclus aangepast worden. Er kan in eerste instantie worden uitgegaan van een maandelijkse controle, hierbij moet gekeken worden naar de dikte van de sliblaag en er moet gekeken worden of het lamellenpakket niet verstopt is. Wanneer er een debietbegrenzer geïnstalleerd is moet deze gecontroleerd worden op zijn werking. De duur en frequentie van de observatie dient afgestemd te worden op het resultaat van de voorziening. Bij een constant resultaat kunt u de voorziening minder vaak monitoren. Bij een wisselend resultaat of een afnemend functioneren van de voorziening is langer en/of frequenter monitoren gewenst
- Wanneer in de eerste maanden geen sprake is van een grote toename van de sliblaag of verstopping kan er een onderhoudsregime worden aangehouden van 1 à 2 keer per jaar

4.6 VOOR- EN NADELEN

VOORDELEN

- Relatief goedkopere oplossing dan reguliere bezinkbak
- Onderhoud kan bij adequate constructie regulier met eigen apparatuur (kolkenzuiger) verricht worden
- Relatief kleiner oppervlak nodig voor plaatsing (dan reguliere bezinkvoorziening)

NADELEN

- Verstoppingsgevoelig bij slecht ontwerp en of onderhoud
- Zonder een debietbegrenzer kan het systeem overbelast worden en uitspoeling optreden van bezonken delen

4.7 ERVARINGEN

ENQUÊTES EN INTERVIEWS

Naast de twee cases zijn er bij gemeenten, waterschappen en hoogheemraadschappen interviews en enquêtes afgenomen met als doel de praktijkervaringen met lamellenseparatoren te achterhalen/verzamelen. Er zijn in totaal 18 enquêtes verstuurd en 12 enquêtes zijn ingevuld en geretourneerd. De gegevens uit deze onderzoeken zijn verwerkt in grafieken. Bij de enquête is naar de volgende onderwerpen gekeken:

- Waarom er gekozen is voor een lamellenseparator
- De praktijkervaringen met het beheer en onderhoud
- Aanwezigheid van monitoring programma's
- Welke producenten zijn er aanwezig
- Welke ontwerpuitgangspunten zijn er van belang bij de selectie van een lamellenseparator

KEUZE

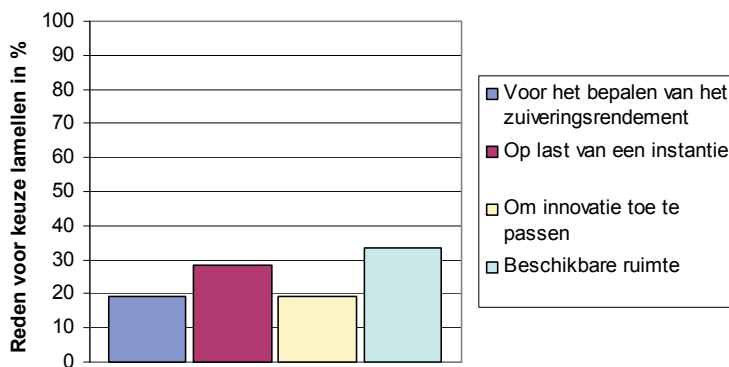
De meeste lamellenfilters worden geplaatst in opdracht van gemeenten. De beweegredenen van de gemeenten om een lamellenfilter toe te passen is voor een groot deel toe te schrijven aan het gebrek aan ruimte in de stad.

Op veel locaties is er geen ruimte om andere bovengrondse zuiveringsvoorzieningen toe te passen (wadi, helofytenveld) en dan zijn de relatief compacte lamellenseparatoren een goed alternatief. Naast het gebrek aan ruimte zorgt de druk van het waterschap (reden: op last van een instantie), door o.a. eisen voortkomend uit de wet verontreiniging oppervlaktewater, voor de plaatsing van lamellenseparatoren. De waterschappen en hoogheemraadschappen geven het advies dat lamellenseparatoren toegepast dienen te worden om het afstromende regenwater te zuiveren voordat het geloosd wordt op het oppervlaktewater.

Waterschappen, hoogheemraadschappen en sommige gemeenten zijn benieuwd naar de werking van een lamellenfilter en willen in de toekomst monitoren en plaatsen daarom een voorziening. Tot slot willen sommige instanties “nieuwe” technieken gebruiken om te kijken of in deze pilots de voorzieningen goed werken.

Veel lamellenfilters worden nu nog geplaatst omdat men verwacht dat dit in de toekomst nodig is door het veranderen van de eisen aan de lozing van regenwater (KRW).

FIGUUR 4.6 REDEN VOOR KEUZE LAMELLENSEPARATOR



BEHEER EN ONDERHOUD

Wat vooral naar voren komt uit de enquêtes, is de grote onbekendheid met het onderhoud van de lamellenseparatoren. Het beheer van de lamellenseparator ligt nagenoeg in alle gevallen bij de gemeenten (alleen de separator in Hoorn wordt onderhouden door het Hoogheemraadschap). Veel gemeenten verrichten geen onderhoud aan de lamellenseparatoren, omdat ze niet weten wat de beste manier is om het onderhoud te plegen.

Een aantal gemeenten begint wel aan het onderhoud. Dit bestaat dan uit het leegzuigen van de voorziening door middel van een kolkenzuiger. Ze beginnen met een frequentie van één keer per half jaar of één keer per jaar en aan de hand van deze bevindingen passen ze het regime aan. Deze frequenties zijn veelal geadviseerd door de producenten, enkele geven echter aan dat het systeem ‘onderhoudsvrij’ zou zijn waar men niet vanuit moet gaan.

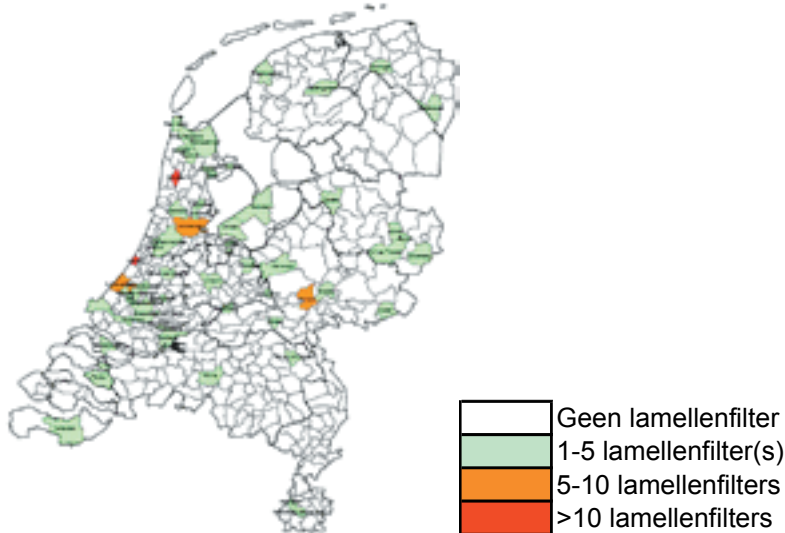
MONITORING

Op een aantal locaties is de werking bekeken van de lamellenseparatoren. Op deze locaties is echter niet voor langere tijd gekeken naar de werking van deze systemen en daarbij is er ook niet volgens een vast meetprotocol gemonitord. Hierdoor kunnen er geen conclusies of vergelijkingen worden getrokken tussen de onderzoeken. Er staan wel een aantal monitoringsprojecten op de agenda in Arnhem, Ede, Amersfoort, Katwijk, Hoorn en Veenendaal.

Het is ook aan te bevelen om meerdere langlopende monitoringsprojecten op te starten die alle volgens een vast meetprotocol worden uitgevoerd en verwerkt worden in een rapport/database. Hiermee creëert men uniformiteit en de mogelijkheid om de projecten met elkaar te vergelijken.

FIGUUR 4.7

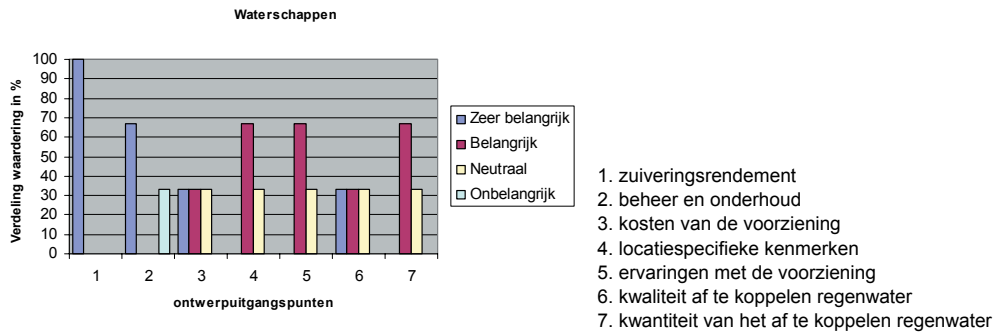
RESULTATEN INVENTARISATIE LAMELLENFILTERS, VERWERKT TOT MEI 2006



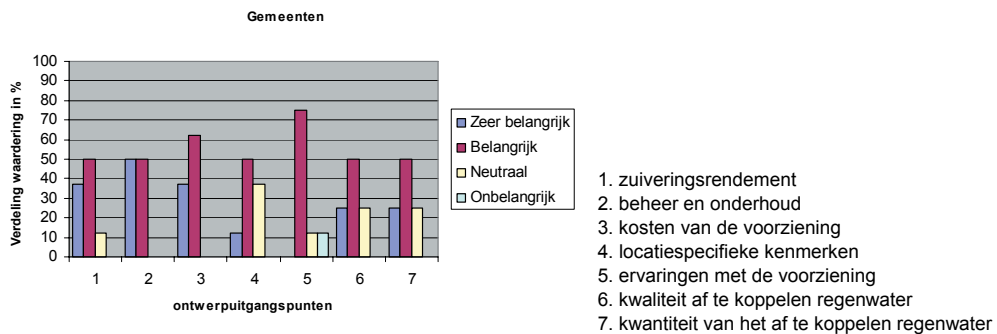
ONTWERPUITGANGSPUNTEN

De instanties, vier waterschappen/hoogheemraadschappen en acht gemeenten, laten de voorzieningen ontwerpen door de producenten. Maar door welke factoren laten de instanties zich leiden bij het kiezen tussen één van de producenten? De geënquêteerden konden hun waardering geven aan ontwerpuitgangspunten (zuiveringsrendement, beheer en onderhoud, kosten van de voorziening, locatiespecifieke kenmerken, ervaringen met de voorziening, kwaliteit af te koppelen regenwater en kwantiteit van het af te koppelen regenwater). In Figuur 4.8 is te zien dat het zuiveringsrendement en het beheer en onderhoud de belangrijkste punten zijn voor waterschappen. Bij de gemeenten in Figuur 4.9 is ook te zien dat deze twee punten van belang zijn met daarbij de kosten. De reden hiervoor is dat gemeenten hun uitgaven meer moeten verantwoorden naar de burgers toe en zijn daarom meer op zoek naar een goede prijs/kwaliteit-verhouding (kosten-baten). Gemeenten zien het beheer en onderhoud als belangrijk punt, dit is echter niet terug te vinden in de frequentie van het onderhoud. De gemeenten willen dan ook dat bij het ontwerp rekening wordt gehouden met de frequentie van het onderhoud en dat het beheer met weinig inspanning gedaan kan worden. Uit de praktijk blijkt dat de waterschappen/hoogheemraadschappen vrijwel nooit specifieke eisen stellen aan het lozen van regenwater op het oppervlaktewater. Bij een aantal wordt gesteld dat de kwaliteit moet voldoen aan dat van regenwater afkomstig van verbeterd gescheiden stelsels.

FIGUUR 4.8 BELANG VAN WATERSCHAPPEN BIJ ONTWERPUITGANGSPUNTEN BIJ LAMELLENSEPARATOR



FIGUUR 4.9 BELANG VAN GEMEENTEN BIJ ONTWERPUITGANGSPUNTEN BIJ LAMELLENSEPARATOR



4.7.1 HOORN

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier heeft een lamellenseparator op haar terrein, Willemsweg 93 te Hoorn, geplaatst om regenwater afkomstig van een parkeerterrein en een zinken dak te zuiveren voordat het geloosd wordt op het oppervlaktewater. Het parkeerterrein heeft een oppervlakte van 2775 m² en het dak een oppervlakte van 925 m². De oppervlakte is 100 % verhard.

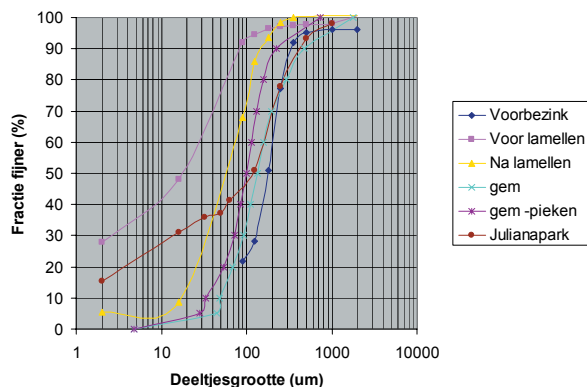
RESULTATEN

Op de locatie in Hoorn zijn monsters genomen van het slib dat aanwezig is in de lamellenseparator. Uitkomsten van de slibanalyse, zijn aangegeven in tabel 4.2. De voorbezinkruimte en de ruimte voor de lamellen zijn samen genomen om zo de gemiddelde concentratie te bepalen voor de lamellen. Na de lamellen is er nog een ruimte waar het slib kan bezinken. Het indicatieve rendement is het verschil tussen de gemiddelde concentratie voor de lamellen en de concentratie van het slib wat na lamellen tot bezinking is gekomen.

TABEL 4.2 ANALYSE SLIB LOCATIE HOORN 18-05-2006 (NB BEPAALD OP BASIS VAN EEN STEEKMONSTER)

Verontreiniging	Eenheid	Voorbezinkruimte	Voor de lamellen	Na de lamellen	Rendement onopgelost	Rendement totaal
Metalen						
Cadmium	mg/kg Ds	0.3	0.7	0.2	60%	40%
Koper	mg/kg Ds	14	24	7	62%	41%
Lood	mg/kg Ds	19	29	9	63%	58%
Nikkel	mg/kg Ds	8	14	8	27%	15%
Zink	mg/kg Ds	50	110	38	53%	31%
PAK						
PAK (10) totaal	mg/kg Ds	0.15	0.4	0.01	96%	94%
Olie						
Koolwaterstoffractie C10-C40	mg/kg Ds	220	330	120	56%	52%

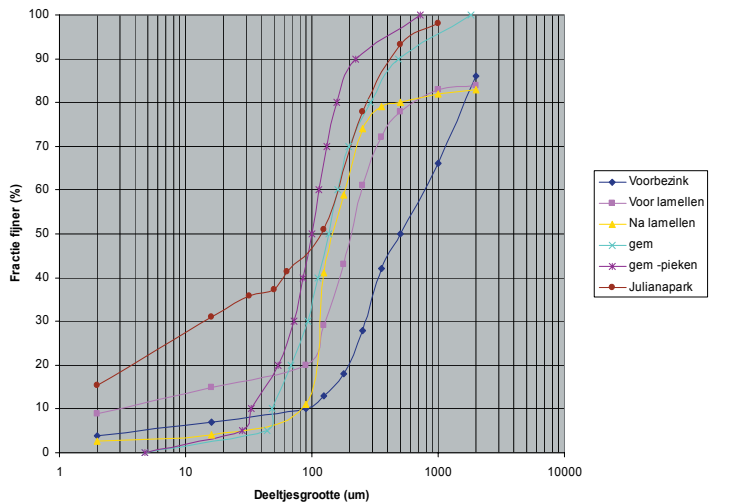
FIGUUR 4.10 VERDELING DEELTJESGROOTTE IN HOORN VERGELEKEN MET GEVONDEN LITERATUUR



TABEL 4.3 ANALYSE SLIB LOCATIE HOORN 15-06-2007 (NB BEPAALD OP BASIS VAN EEN STEEKMONSTER)

Verontreiniging	Eenheid	Voorbezinkruimte	Voor de lamellen	Na de lamellen	Rendement onopgelost	Rendement totaal
Metalen						
Cadmium	mg/kg Ds	1.5	0.73	<0.1	91%	61%
Koper	mg/kg Ds	25	16	2.8	86%	57%
Lood	mg/kg Ds	34	21	4.2	85%	78%
Nikkel	mg/kg Ds	8.9	8.5	4.7	46%	25%
Zink	mg/kg Ds	140	86	17	85%	50%
PAK						
PAK (10) totaal	mg/kg Ds	0.84	0.88	0.45	48%	47%
Olie						
Koolwaterstoffractie C10-C40	mg/kg Ds	322	426	31	92%	86%

FIGUUR 4.11 VERDELING DEELTJESGROOTTE IN HOORN VERGELEKEN MET NATIONAAL EN INTERANTIONALE VERDELING



In figuur 4.12 en figuur 4.13 is de verdeling van deeltjes bij de grafiek uit paragraaf 2.1 gezet, om zo een vergelijking te maken met bekende verdelingen. De donkerblauwe lijn geeft de verdeling van deeltjes aan in de voorbezinkruimte. De kleinere deeltjes zullen hier niet bezinken, maar komen voor, onder en na de lamellen tot bezinking.

Wat echter opvalt, is dat er een hoger percentage grotere deeltjes na de lamellen ligt dan voor de lamellen. Dit kan een aantal oorzaken hebben:

1. Er wordt hier geen debietbegrenzer toegepast, zodat bij een debiet boven het ontwerpdebiet de kans bestaat dat het water over de lamellen heen slaat
2. Er is hier in 1,5 à 2 jaar geen onderhoud verricht aan de lamellen, zodat deze dichtgeslibd zijn en niet meer voldoende functioneren
3. De uitlaat van de lamellenseparator staat in rechtstreekse verbinding met het oppervlaktewater. Hierdoor kunnen er deeltjes van de slibbodem uit het oppervlaktewater de voorziening binnenstromen en dit beeld weergeven

De concentraties van de verontreiniging (tabel 4.2 en tabel 4.3) vertonen een afname tussen de voorbezinkruimte, voor en na de lamellen. Het gaat om slib wat afkomstig is van meerdere neerslaggebeurtenissen. In de toekomst zullen er wellicht meerdere metingen plaatsvinden, waardoor er een ander beeld kan ontstaan. Het valt echter op dat de concentraties voor de lamellen toenemen ten opzichte van de concentraties in de ruimte ervoor. Dit staat wel met de conclusies dat concentraties van de verontreinigingen toenemen bij een afname van de deeltjesgrootte. Het percentage deeltjes kleiner dan 63 µm is voor de lamellen een stuk groter dan in de voorbezinkruimte.

Het is echter niet mogelijk om een eenduidige conclusie te geven na twee metingen. Ook aangezien de lamellenseparator niet meer optimaal functioneert door het achterwege laten van het onderhoud en deeltjes mogelijk bij overbelasting de voorziening hebben verlaten.

BEHEER

De voorziening in Hoorn is na de aanleg niet meer beheerd hierdoor lag er een grote slib laag in de voorziening en op de lamellen, dit beïnvloed mogelijk het zuiveringsrendement, zie Figuur 4.12. Om deze reden is 2,5 jaar na aanleg de voorziening gereinigd. Dit zou gezien de gegevens in de orde van elk half jaar dienen te gebeuren.

Lamellenafscheiders worden vaak uitgerust met vierkante deksels, aandachtspunt bij het

reinigen van de voorziening is dat het deksel op de juiste wijze wordt verwijderd, dit voorkomt dat de deksel in de voorziening valt en het lamellenpakket beschadigd, zie Figuur 4.13. Daarnaast dienen de leidingen die op de voorziening zijn aangesloten dicht gezet te worden, zodat de voorziening leeg kan worden gezet.

Met behulp van de zuigauto en een hoogdrukreiniger kan men het “zichtbare” slib verwijderen. Het is gewenst de pakketten eenvoudig uit deze voorziening te halen voor inspectie en onderhoud.

FIGUUR 4.12



FIGUUR 4.13

REINIGEN LAMELLENFILTER M.B.V. ZUIGAUTO (LINKS) EN EEN LEEG GEZOGEN VOORZIENING (RECHTS)



4.7.2 GEMEENTE BINNENMAAS

In de gemeente Binnenmaas is onderzoek gedaan naar een lamellenfilter van AQA. De lamellenafscheider is gelegen ter plaatse van de Nassaulaan in Puttershoek (gemeente Binnenmaas) en behandelt afgekoppeld hemelwater afkomstig van wegen. In totaal stroomt een oppervlak van ongeveer 0,60 ha af op de lamellenafscheider. In de toekomst zal het oppervlak uitgebreid worden. Dit oppervlak bestaat uit trottoirs en wegen; hemelwater dat van de daken afstroomt, is voorlopig niet afgekoppeld. De afscheider heeft een capaciteit van 12 liter per seconde per ha. Het surplus boven deze hoeveelheid gaat via een bypass direct naar het oppervlaktewater [65].

Bij de rendementsbepaling is uitsluitend gekeken naar de concentraties in influent en effluent.

EERSTE MONITORINGSRONDE (14 APRIL 2004)

De eerste monsternamen bestond uit een pompproef. Nadat het afgestroomde regenwater door middel van een afsluiter enige tijd was opgestuwd, is met een pomp het water door het filter gepompt. Er zijn op deze wijze monsters genomen bij beide perlietfilters en de lamellenafscheider.

TWEDE MONITORINGSRONDE (23 JUNI 2004)

Bij de tweede monitoring is het gelukt om monsters te nemen tijdens een bui. De verwachting is dat deze meetsituatie idealer is, omdat dit meer de praktijksituatie benadert. In de praktijk is dus één monster van influent en één van effluent genomen, waarbij er tussen monstername van het in- en effluent maximaal enkele minuten zaten. Er zijn monsters genomen bij de perlietfilter die het afgekoppeld hemelwater behandelt en bij de lamellenfilter.

DERDE MONITORINGSRONDE (23 DECEMBER 2004)

Bij de derde monitoring zijn van tevoren monsterunits voor en na de perlietfilter geplaatst. Dit omdat het idealer is meerdere monsters van zowel influent als effluent te nemen vanwege variaties in de vuilvracht gedurende de bui. Toen het voldoende regende (23 december 2004), zijn beide kasten aangezet waarbij gedurende de bui om de 10 minuten een kleine hoeveelheid monstervolume is genomen. Op die manier is een mengmonster verkregen van zowel influent als effluent.

Een derde monitoringsronde is niet bij de lamellenfilter uitgevoerd omdat er niet voldoende monsterunits waren.

ANALYSEPARAMETERS

In de bemonstering is een breed pakket aan parameters meegenomen: onopgeloste bestanddelen, zware metalen, minerale oliën, PAK en standaardpakket oppervlaktewater OWLZ (BZV, chloride, CZV, geleidbaarheid, ammonium, stikstof Kjeldahl, som nitriet/nitraat, ortho-fosfaat, fosfaat-totaal, pH).

CONCLUSIE

Bij de eerste en tweede monstername zijn regelmatig effluentconcentraties gemeten hoger dan influentconcentraties. De rendementen bij de eerste monstername variëren van -1267 % tot 69 % en bij de tweede monstername van -900 % tot 69 %. Bij de derde monstername was dit niet het geval, maar de rendementen op basis van deze analyseresultaten zijn niet zo hoog als op basis van de achtergronddocumenten van de leveranciers te verwachten was. De rendementen varieerden hier van -16 % tot 40 %.

Opgemerkt dient te worden dat de werkwijze van monstername van invloed is geweest op de analyseresultaten. Vooral voor de eerste meetronde is de monstername van invloed geweest: het geforceerd door het filter heen pompen wijkt af van de gebruikelijke situatie.

In de tweede ronde is gemeten tijdens een regenbui. Daarbij is nog steeds de wijze van monstername van invloed op de analyseresultaten omdat de vuilvracht gedurende de bui varieert. In de ideale situatie zouden meerdere monsters van zowel influent als effluent genomen moeten worden. Per analyseparameter is echter al een monstervolume nodig variërend tot anderhalve liter. Daardoor is het in de praktijk zeer lastig om ter plekke te zijn bij een bui van voldoende omvang om meerdere monsters te kunnen nemen. Daarom is in de derde monstername bij het perlietfilter een monster van zowel in- als effluent genomen met een tijdsproportionele monsterunit. Hierdoor is voor zowel influent als effluent een mengmonster verkregen dat het totale verloop van de bui representeert.

4.7.3 UTRECHT

In Utrecht zijn twee lamellenfilters in gebruik bij stadion Galgenwaard. Deze worden daar toegepast omdat het afstromende regenwater afkomstig is van het stadiondak waar zink in verwerkt is. Er is gekozen voor een lamellenfilter vanwege het ruimtegebrek. Plaatsing is gebeurd in samenwerking met HDSR. Er is ook subsidie voor verkregen waarbij de voorwaarde

gold dat er monitoring van de werking plaats moest vinden. Dit is gedurende 3 jaar bij één van de twee filters gedaan. Deze monitoring is echter niet helemaal goed gegaan vanwege foute aansluitingen op het regenwaterriool en doordat er hogere effluent dan influent waarde werden gemeten zonder hiervoor een oorzaak te vinden. Hierdoor kan er weinig gezegd worden over de werking van de lamellenfilters. Vanwege bouwactiviteiten rond stadion Galgenwaard zijn beide lamellenfilters niet meer toegankelijk. Er wordt teveel hinder ondervonden van de werkzaamheden. Bij één van de lamellenfilters is bijvoorbeeld een toestroomleiding doorboord bij het plaatsen van een hek. Het ligt echter wel in de planning om nadat de bouwactiviteiten zijn afgerond de monitoring opnieuw te starten [112].

De ervaring sluit ook aan bij de richtlijn dat voorzieningen zo laat mogelijk in het proces gerealiseerd moeten worden. Bij het monitoren dient ook opgelet te worden op zaken die de bevindingen kunnen beïnvloeden en daarmee de betrouwbaarheid.

FIGUUR 4.14

STADION GALGENWAARD



4.7.4 ARNHEM

Het lamellenfilter bevindt zich aan de Dordrechtweg in Arnhem-Zuid. Bij het lamellenfilter staan twee monsternamekasten, één voor het influent en één voor het effluent.

De aankomende regenwaterafvoerleiding heeft een diameter van 250 mm. Op deze leiding is circa 3,80 ha verhard oppervlak aangesloten. Bovenstrooms van de installatie bevindt zich een interne overstortmuur. Tussen de overstortmuur en het lamellenfilter is een debietmeter geplaatst in de regenwaterafvoerleiding. De debietmeter is ingesteld op een bereik van 7,5 m³/uur tot 500 m³/uur. De debietmetingen en de actuele status van de monsternamekast kunnen door een gsm-verbinding op elk gewenst moment worden uitgelezen.

Het lamellenpakket heeft een ontwerpcapaciteit van 50 l/s.

ERVARINGEN

Onjuiste hoogte filterpakket.

Het lamellenfilter aan de Dordrechtweg heeft vanaf 3 juli 2006 gefunctioneerd. Wat tijdens de test op 3 juli niet is gebleken, is dat het geïnstalleerde filterpakket niet de juiste afmetingen had. De hoogte van het filterpakket was te klein, waardoor water over het filter heen stroomde in plaats van er doorheen. Op 6 november 2006 is door de firma Facet een nieuw filterpakket geplaatst met de juiste hoogte. Tevens is op die dag de overloopopening in de put dichtgemaakt om te voorkomen dat bij een hoge waterstand drijvende bestanddelen de put kunnen verlaten.

TOEGANKELIJKHEID LAMELLENFILTER

Op 6 november 2006 bleek verder dat de betonnen dekplaat van de put tijdens de bouw verkeerd om is neergelegd. Hierdoor is het moeilijker geworden om via de putopening het filter te reinigen.

RENDEMENTEN

De eerste verwijderingsrendementen van het lamellenfilter bleken laag te zijn. Dit is veroorzaakt doordat vóór 6 november een te laag filterpakket was geïnstalleerd. Omdat het water over het filter is gestroomd, is er bijna niets verwijderd. De effluentconcentraties zijn daarvoor ongeveer gelijk aan de influentconcentraties. Op 6 november is een nieuw filterpakket geïnstalleerd. In onderstaande tabel staan de gemiddelde verwijderingsrendementen van 6 november 2006 tot mei 2007.

TABEL 4.4

VERWIJDERINGSRENDEMENTEN LAMELLENFILTER

Parameter	Aantal monsters	Verwijderingsrendement in %
CZV	17	21
Kjeldahl-N	16	9
Fosfor (P)	14	20
Droge stof OB	231	21
Koper	21	0
Lood	21	17
Zink (Zn)	21	13
Coli Totaal	9	23

4.7.5 RENDEMENTEN BIJ BERGBEZINKBASSINS IN NEDERLAND

In Nederland zijn nog geen langdurige onderzoeken gedaan naar lamellenseparatoren die worden toegepast bij het zuiveren van afstromend regenwater. In Nederland zijn wel een tweetal monitoringen gedaan naar het effect van lamellen in bergbezinkbassins (BBB's). Deze zijn aangesloten op het gemengd rioolstelsel. Deze onderzoeken zijn gedaan in Deventer en Limmen.

Lamellenseparatoren worden o.a. ook gebruikt bij olieraffinaderijen en RWZI's. Bij RWZI's wordt echter ook gebruik gemaakt van chemische middelen om de verontreinigingen te verwijderen en bij olieraffinaderijen wordt alleen olie verwijderd. Hierdoor heeft het minder raakvlakken dan BBB's en zullen daardoor niet behandeld worden.

DEVENTER [73]

Aan de Noorwegenstraat te Deventer is een BBB gebouwd met een totale inhoud van ongeveer 1200 m³. Dit bassin is verdeeld in twee gelijke, evenwijdige opgesteld, compartimenten of straten. In één van de compartimenten is een lamellenafscheider aangebracht.

De waarnemingen van drie bemeten overstortingen laat nogal wat onderlinge spreiding zien, hetgeen mede het gevolg is van een aantal problemen rond de monitoring die tijdens de meetperiode niet opgelost konden worden. Wel is duidelijk dat de troebelheid (gemeten met een troebelheidssensor) van de uitgaande stroom lager is dan van de inkomende en dat de troebelheid van de uitgaande stroom uit de lamellenstraat (bak met lamellen) lager is dan van de conventionele straat (bak zonder lamellen). Dit duidt zowel op een rendement van het bassin als geheel, als op een versterking van het rendement door toepassing van de lamellenafscheider.

Het rendement (= procentuele reductie) zoals dit normaal gesproken wordt berekend (voor formules voor rendementen van BBB, Veldkamp [74]) kan niet worden toegepast op deze meetset, vanwege het ontbreken van debietmetingen. Om verwarring te voorkomen bij vergelijking met andere onderzoeken, is een soort van effectiviteit berekend (product van de FNU*tijd. FNU is de manier waarop de troebelheid wordt gemeten. De effectiviteit is hier het reduceren van de troebelheid). Deze effectiviteit is ongeveer 10 % (range 8-10 %). De effectiviteit was 15 % voor de bak met lamellen (range 13-17 %) en 6 % voor de conventionele straat (range: 2-12 %). Dit is het gevolg van zowel de meetopstelling als van de aanvulling van het bassin ten tijde van aanvang van de overstorting. Opvallend is dat de troebelheid van de lamellenstraat ook bij een hele kleine overstorthoogte (= gering debiet) lager is dan van de conventionele straat.

De effectiviteit zal altijd lager uitvallen dan het rendement, omdat de troebelheid in deze meetopstelling pas gemeten werd aan de inkomende en uitgaande stroom als de waterstand ongeveer 0,20 m onder de externe overstortdrempel komt: het bassin is dan vrijwel gevuld.

LIMMEN [75]

Het BBB in Limmen bestaat uit twee identieke compartimenten naast elkaar, waarvan er bij één lamellen zijn geplaatst bij het eindgedeelte van de tank. Door de grote inhoud van het BBB in Limmen zal deze niet snel tot overstorting komen. Alleen bij zware regenbuien zal de externe overstort in werking treden. In de periode van augustus 2001 tot en met januari 2003 is dit 9 keer gebeurd.

Voor beide compartimenten ligt het rendement boven 75 % voor 6 van de 9 bemeten overstortingen. Het verschil in rendement van beide compartimenten is voor 5 gebeurtenissen verwaarloosbaar klein, hooguit 1 %. Voor twee gebeurtenissen ligt het rendement voor het compartiment met lamellenafscheider duidelijk hoger, namelijk 6 % en 27 %. Voor één gebeurtenis is het rendement negatief, maar gezien de ervaringen met het schoonmaken bij gebeurtenis 9 zou dit het gevolg kunnen zijn van een vervuilde troebelheidssensor.

Uit de meetgegevens volgt geen aantoonbaar effect van de lamellenafscheider in Limmen. Dat deze niet is gevonden, is voornamelijk het gevolg van de lage belastingen. Voor het bassin in Limmen geldt dat de gemeten debieten zo veel lager zijn dan verwacht dat het effect van de lamellenafscheider amper meetbaar is. Dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat het afvoerende oppervlak kleiner is dan geschat, of doordat de afvoer naar het bassin kleiner is dan aangenomen, zodat pieken over andere overstorten verdwijnen of tijdelijk op straat worden geborgen.

Het onderzoek toont aan dat er in Limmen weinig effect waarneembaar is, mede door de overdimensionering van het BBB. Dit wil overigens niet zeggen dat toepassing van een lamellenseparator geen effect sorteert. Het onderzoek in Deventer heeft aangetoond dat deze voorzieningen wel een positieve bijdrage geeft, waarbij wel opgemerkt moet worden dat in Deventer de tank een hogere oppervlaktebelasting heeft, zodat het effect eerder merkbaar is.

Uit het onderzoek in Limmen is te concluderen dat de "vuilgraad" van het water van invloed is op de zuiverende werking van lamellenseparatoren. Er is gevonden dat aan het einde van de bak, het water een lage belasting heeft, waardoor er weinig verschil in rendement is tussen beide bakken. Als er relatief veel verontreinigingen aanwezig zijn in het afstromende water dat aangesloten is op de voorziening, zullen de rendementen hoger zijn aangezien er meer zekerheid is dat er verontreinigingen bezinken.

Het is niet mogelijk om de resultaten te extrapoleren naar zuivering van regenwater. Het gaat immers om ander influent en er wordt een ander soort lamellen gebruikt. De lamellenafstand moet bijvoorbeeld groter zijn bij een BBB, om verstopping te voorkomen. Er wordt wel aangetoond dat lamellenseparatoren werken, weliswaar beperkt in geval van een groot BBB.

5

HELOFYTFILTER

Helofytenfilters zijn systemen die het regenwater filteren middels waterplanten (meestal riet). Er zijn een drietal systemen te onderscheiden (vloeiveld, horizontaal en verticaal doorstroomde helofytenfilters). Het verschil tussen de systemen zit hem in de manier waarop het regenwater door het filter wordt geleid.

De kosten verschillen sterk tussen de diverse systemen, een horizontaal en verticaal doorstroomde helofytenfilter is in het algemeen duurder bij de aanleg dan een vloeiveld.

Er bestaan geen landelijke dimensioneringsrichtlijnen voor het ontwerp van helofytenfilters voor afstromend regenwater. Er wordt wel uitgegaan van de volgende richtlijnen:

- Bij vloeivelden wordt vaak van een optimale hydraulische belasting van 0,02-0,05 m/d uitgegaan
- Bij verticaal doorstroomde filters wordt vaak uitgegaan van 0,1 tot 0,2 m/d
- Bij gelijk rendement vereisen een vloeivelden een groter ruimtebeslag dan infiltratievelden. Vloeivelden kunnen zwaarder belast worden. Een combinatie is mogelijk.

Bij de aanleg van een helofytenfilter dient voorkomen te worden dat de ondergrond wordt verdicht. Zo blijft de waterdoorlatendheid behouden.

Eén van de belangrijkste beheersmaatregelen is het maaien van het riet in het helofytenveld.

5.1 DEFINITIE

De benaming “helofytenfilter” is een verzamelterm voor enkele technieken. De technieken hebben de beplanting met waterplanten (meestal riet) als overeenkomst maar verschillen wezenlijk van elkaar. Het is daarom nodig om een onderscheid te maken naar het werkingsprincipe. Een logische onderverdeling is:

1. Vloeivelden of moerassystemen
2. Horizontaal en verticaal doorstroomde helofytenfilters

ad 1. Vloeivelden en moerassystemen

Vloeivelden en moerassystemen zijn ontworpen om op natuurlijke moerassystemen te lijken. Een andere benaming is “openwatersystemen”. Vloeivelden en moerassystemen kunnen worden gedefinieerd als kunstmatig aangelegd ondiep oppervlaktewater, zodanig ingericht en beheerd dat de natuurlijke zelfreinigende processen, die ook in natuurlijk oppervlaktewater plaatsvinden, gecontroleerd en op een kleiner oppervlak plaatsvinden.

ad 2. Horizontaal en verticaal doorstroomde helofytenfilters

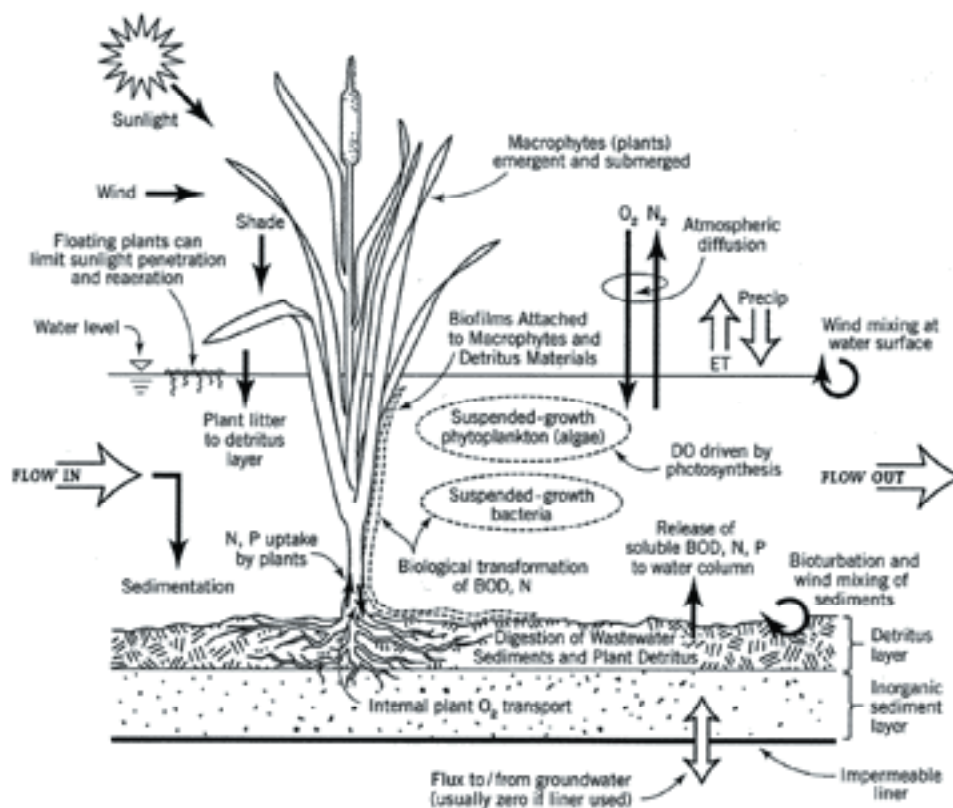
Horizontaal en verticaal doorstroomde helofytenfilters zijn vaak zand of grindbedden. Het water moet deze bedden in horizontale of verticale richting passeren. Deze systemen worden ook wel aangeduid als wortelzonesystemen (horizontaal doorstroomd helofytenfilter) of als infiltratieveld (verticaal doorstroomd helofytenfilter). Verticaal en horizontaal doorstroomde

helofytenfilters kunnen worden gedefinieerd als een kunstmatig aangelegd doorlatend bodempakket waardoorheen water wordt gevoerd. Het systeem, zodanig ingericht dat vastlegging, adsorptie, bacteriële omzetting en filtratie kunnen plaatsvinden [99].

5.2 WERKING VLOEIVELDEN

Vloeiervelden en moerassystemen zijn de meest natuurlijke vorm van zuivering van de geselecteerde systemen. Helofytenfilters kunnen worden ingericht met diepe en ondiepe delen. Bepplanting kan variëren van open water met ondergedoken waterplanten, ondiepe delen met moerasplanten en delen die af en toe onder water lopen. Er zijn veel processen die een rol spelen bij de verwijdering en vastlegging van stoffen. In figuur 5.1 zijn de verschillende werkingsprincipes weergegeven.

FIGUUR 5.1 OVERZICHT PROCESSEN IN EEN VLOEIVELD/MOERASSYSTEEM [100]



Bij het toepassen van een vloeierveld (moerassysteem of openwatersysteem) voor het behandelen van afstromend hemelwater vindt een aantal processen plaats.

ORGANISCHE STOFFEN

Er bestaat een verband tussen de verblijftijd van water in een vloeierveld en de verwijdering van stoffen. Verwijdering van organische stof vindt vooral plaats door bezinking en biologische afbraak. Door waterorganismen en afgestorven planten zal er altijd sprake zijn van een natuurlijk achtergrondgehalte organische stof.

ZWEVENDE STOF

Ook hiervoor geldt dat er een verband is tussen de verblijftijd en de verwijdering van zwevende stof. De verwijdering van zwevende stof berust vooral op bezinking. Er moet rekening mee worden gehouden dat het zwevende stofgehalte van het effluent soms hoger is dan van het influent. Dit wordt veroorzaakt door algen en waterorganismen, die ook bijdragen aan het zwevende stofgehalte.

NUTRIËNTEN

Voor nutriënten (stikstof en fosfaat) geldt net als voor organische stof dat de verblijftijd in het filter van invloed is op de verwijdering. Nutriënten kunnen door bezinking worden verwijderd als ze zijn gebonden aan zwevende stof. Verwijdering van opgeloste nutriënten vindt plaats door microbiële omzettingen en de groei van planten. De verwijdering van stikstof ligt vaak tussen 10-50 %. De verwijdering van fosfaat varieert eveneens sterk (negatief tot 40 %).

METALEN

Metalen worden in een vloeiveld vooral verwijderd door bezinking en opname door planten. Ook bacteriën die in de wortelzone van waterplanten groeien, kunnen zware metalen opnemen. Er bestaan verschillen in de opnamecapaciteit van verschillende plantensoorten en er bestaan verschillen tussen de seizoenen. Omdat zware metalen in hemelwater vaak voor een belangrijk deel zijn gebonden aan zwevende stof bestaat er meestal een relatie tussen de verwijdering van zwevende stof en metalen.

DE ROL VAN PLANTEN

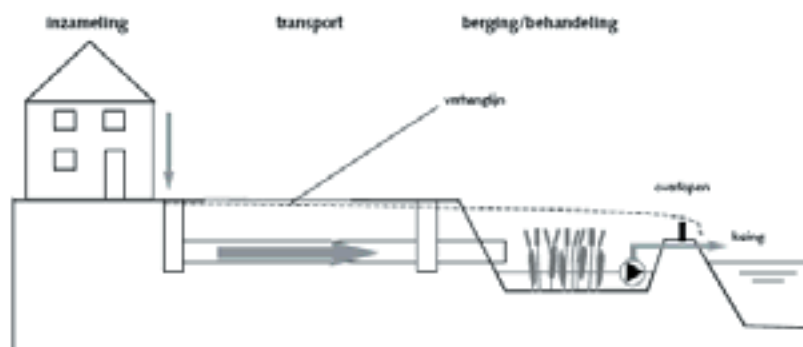
Planten spelen bij hydraulisch hoogbelaste vloeivelden slechts een beperkte rol bij het verwijderen van stoffen. Bij vloeivelden spelen planten een rol bij het egaliseren van de verblijftijd. Planten beperken de windinvloed. Verder bieden planten oppervlak waarop micro-organismen zich kunnen hechten.

PRINCIPE

In figuur 5.2 is een prinscipeschema van een vloeiveld weergegeven.

FIGUUR 5.2

PRINCIPE HELOFYTENFILTER [42]

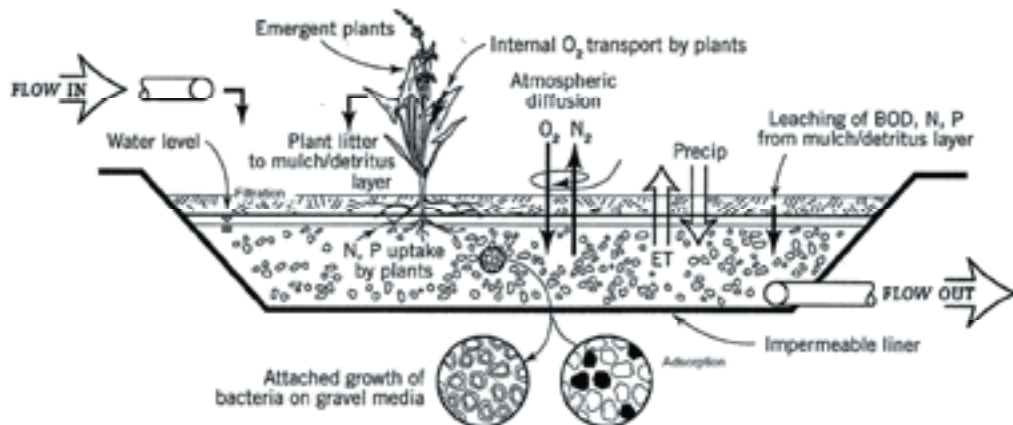


Een voordeel van een vloeiveld is dat het mogelijk is om tijdelijk een grote hoeveelheid water te bergen. Gedurende langere tijd kan het waterniveau in een vloeiveld 20-40 cm worden verhoogd. Gedurende kortere tijd (weken) mag het niveau met 40-80 cm worden verhoogd.

5.3 WERKING HORIZONTAAL EN VERTICAAL DOORSTROOMDE HELOFYTENFILTERS

Horizontaal en verticaal doorstroomde helofytenfilters zijn in hoofdzaak opgebouwd uit zand. Het water wordt horizontaal of verticaal door het zandbed gevoerd. De werking van de verticaal en horizontaal doorstroomde helofytenfilters is globaal vergelijkbaar. De werkingsprincipes worden daarom gezamenlijk behandeld. In figuur 5.3 zijn de processen weergegeven.

FIGUUR 5.3 OVERZICHT PROCESSEN IN EEN VERTICAAL DOORSTROOMD HELOFYTENFILTER



ORGANISCHE STOFFEN

Verwijdering van organische stof vindt vooral plaats door filtratie, gevolgd door biologische afbraak.

ZWEVENDE STOF

De verwijdering van zwevende stof berust op filtratie.

NUTRIËNTEN

Voor nutriënten moet een onderscheid worden gemaakt in stikstof en fosfaat.

De verwijdering van stikstof berust op filtratie voor de afscheiding van stikstof die gebonden is aan deeltjes. Stikstof wordt verder opgenomen door planten. Tenslotte vindt verwijdering van stikstof plaats door microbiële omzettingen (nitrificatie en denitrificatie).

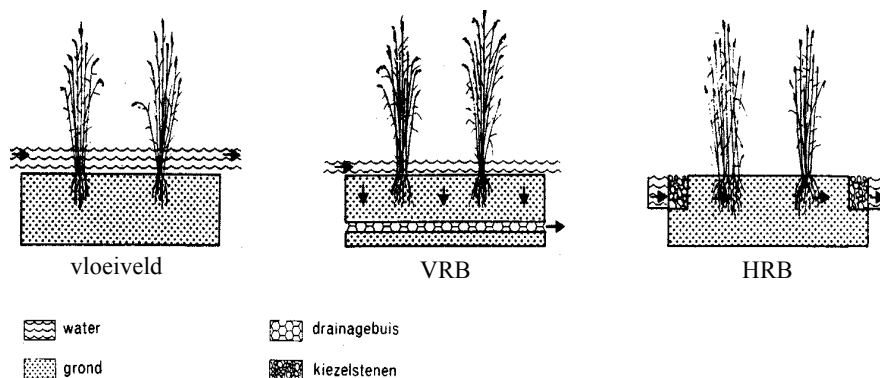
Gebonden fosfaat kan afgescheiden door filtratie. Planten en micro-organismen binden fosfaat. Tenslotte kan opgelost fosfaat (ortho-fosfaat) worden geadsorbeerd. Om adsorptie van fosfaat langdurig plaats te laten vinden, is het noodzakelijk om toevoegingen te doen aan het zand. Toevoegingen die in de praktijk worden toegepast zijn ijzer- en calciumverbindingen.

De verwijdering van stikstof in een verticaal of horizontaal doorstroomd helofytenfilter ligt net als bij vloeivelden vaak tussen 10-50 %. De verwijdering van fosfaat is afhankelijk van de bedrijfsvoering en toevoegingen aan het zandpakket. Een verwijdering van 90 % of hoger is mogelijk.

METALEN

Metalen kunnen in een verticaal of horizontaal doorstroomd helofytenfilter worden verwijderd door vloeiveld door filtratie (onopgelost). Verder kunnen planten en bacteriën metalen opnemen. Net als fosfaat kunnen metalen door adsorptie worden verwijderd.

FIGUUR 5.4 TYPE HELOFYTENSYTEMEN [101]



DE ROL VAN PLANTEN

Planten spelen slechts een beperkte rol bij het verwijderen van stoffen. Zeker bij systemen die hydraulisch hoog worden belast is de rol van planten klein. Planten hebben echter wel een rol op het milieu en de doorlatendheid van de bovenste laag in een filter en op het microbiële bodemleven.

5.4 CRITERIA

Om de verschillende voorzieningen met elkaar te vergelijken zal bij elk van de voorzieningen gekeken worden naar dezelfde criteria.

5.4.1 INVESTERINGSKOSTEN EN EXPLOITATIEKOSTEN

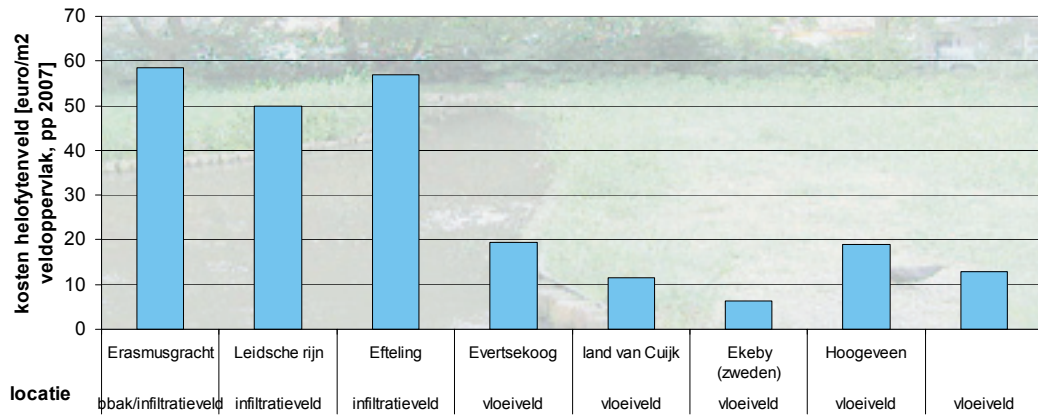
Een eenduidige prijs voor een helofytenveld is niet te geven. Dit hangt sterk af van het soort veld en de grootte ervan. Om dezelfde mate van zuivering te bereiken is bij openwater-moerassystemen een grotere ruimte nodig dan infiltratievelden en wortelzonesystemen. Hier staat tegenover dat infiltratievelden en wortelzonesystemen duurder zijn in aanleg dan openwater-moerassystemen. Met name het substraat en het aanbrengen hiervan zijn duur. Zo kostte de aanleg van het rietinfiltratieveld van de Efteling (8,3 ha, prijspeil 2002) EUR 1.461.000/ha en de aanleg van het openwatersysteem bij Eversteekooog (1994) circa EUR 150.000/ha, exclusief EUR 30.000/ha voor uitgebreide instrumentatie. De aanlegkosten van het moerassysteem bij Land van Cuijk (3,9 ha, 2000) waren circa EUR 100.000/ha. De aanleg van Ekeby (Zweden, 28 ha, 1999) tenslotte bedroeg EUR 53.280,-/ha. In deze bedragen zijn de kosten voor eventuele grondaankoop niet meegenomen.

Rekening houdend met de grootte van het filter en omgerekend naar een prijspeil van 2007 met een jaarlijkse inflatie van 2 % geeft in Nederland prijzen variërend van 12 tot 20 euro per m² veldoppervlak.

Zie ook de volgende figuur⁴.

⁴ Waterharmonica 'de natuurlijke schakel tussen waterketen en watersysteem, Stowa 2005-18

FIGUUR 5.5 KOSTEN HELOFYTENVELDEN (OMGEREKEND NAAR PRIJSPEIL 2007 MET 2 % JAARLIJKSE INFLATIE)

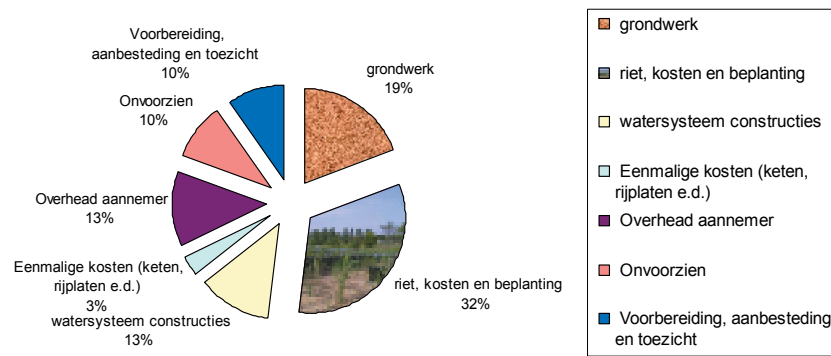


In de leidraad worden geen kosten gegeven voor helofyten voor de zuivering van afstromend regenwater, alleen de toepassing bij IBA's.

In Arnhem is voor de kosten uitgegaan van EUR 7.500,- voor 1 ha afgekoppeld oppervlak en een debiet van 3 m³/h. De exploitatiekosten zijn EUR 0,20 per m³.

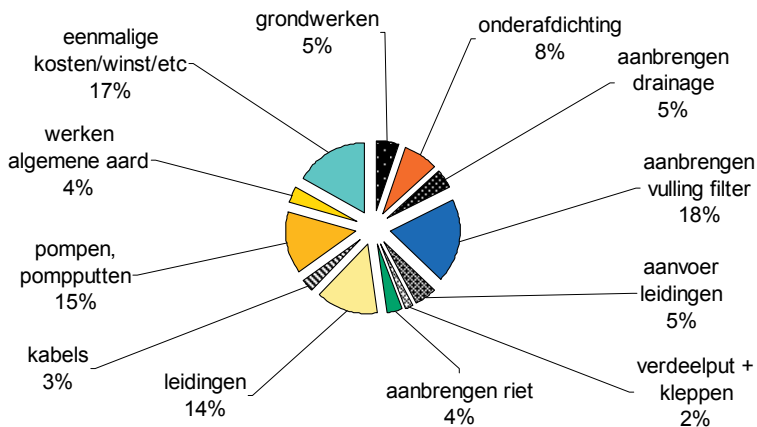
FIGUUR 5.6 VOORBEELD VAN KOSTENVERDELING (LEIDSCHER RIJN) VLOEIVELD: GROOTSTE KOSTENPOSTEN; GRONDWERK, VEGETATIE. KOSTEN 13 EURO/M²

Kostenverdeling vloeiveld



FIGUUR 5.7 VOORBEELD VAN KOSTENVERDELING INFILTRATIEVELD: GROOTSTE KOSTENPOSTEN; GRONDWERK, WATER AAN- EN AFVOER (POMPEN, PUTTEN, LEIDINGEN). KOSTEN INFILTRATIEVELD 50 EURO/M²

Kostenverdeling verticaal doorstroomd



5.4.2 RENDEMENT

De verwijderingsrendementen van een helofytenfilter zijn sterk afhankelijk van het ontwerp en het beheer. In de tekst en bij de ervaringen worden al een aantal rendementen genoemd.

Rendementen die zijn gehanteerd bij het ontwerp van een helofytenveld in Arnhem⁵:

COD	10-40 %
BOD	30-70 %
SS	30-70 %
Stikstof	20-50 %

Gezien de vele afhankelijkheden kan in plaats van rendementen voor de verwijdering van een aantal stoffen het beste uitgegaan worden van de opname- of afbraakcapaciteit van het helofytenfilter (uitgedrukt in gram per m² per dag). Voor andere stoffen kan het best worden gesproken over een effluentgehalte dat bereikt kan worden. Globaal kan worden uitgegaan van de volgende vuistregels:

Vloeveld (verwijdering is gebaseerd op belasting) [103]

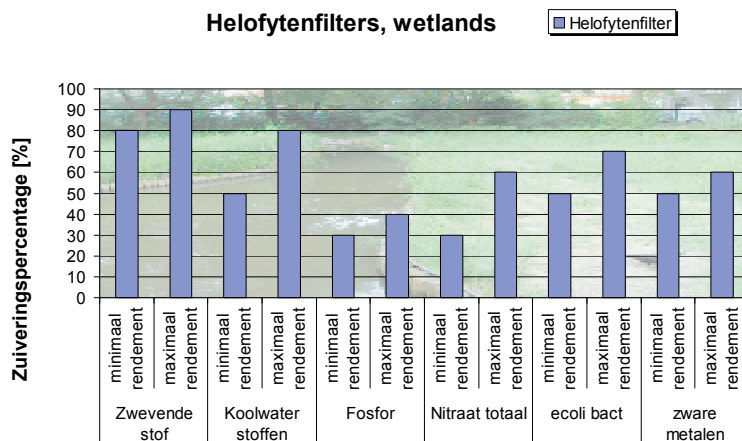
BZV-verwijdering	0,1-1,2 g/m ² .d
CZV-verwijdering	1-3 g/m ² .d
Zwevende stof	0,6 – 2,2 g/m ² .d
Stikstofverwijdering	0,1-2,3 g N/m ² .d
Fosfor	0-0,25 g P/m ² .d

Verticaal doorstroomd helofytenfilter

BZV-verwijdering	0,1-1,2 g/m ² .d
CZV-verwijdering	1-3 g/m ² .d
Stikstofverwijdering	0,1-2,3 g N/m ² .d
Zwevende stof	effluent < 1 mg/l
P-totaal	effluent < 0,05 mg P/l
Metalen	20-90 %

Uit het boek Sustainable drainage systems, hydraulic, structural and water quality advice zijn de rendementen uit figuur 5.8 afkomstig.

FIGUUR 5.8 ZUIVERINGRENDEMENT HELOFYTENSISTEMEN [46]



⁵ Gemeente Arnhem (2005), Reductie vuilemissie regenwaterriolen en opsporen foutaansluitingen, Arnhem

In helofyten vinden verschillende zuiveringsprocessen plaats waardoor er een hoger rendement kan worden behaald i.p.v. een voorziening met een enkelvoudig proces. De rendementen (stofafhankelijk) laten vaak grote marges zien aangezien de zuiveringsprestatie o.a. afhankelijk is van: het soort veld, dimensies, belasting, meetmethodiek

5.4.3 KOSTENEFFECTIVITEIT

Door de spreiding in kosten is het niet mogelijk een eenduidige conclusie te trekken over de kosteneffectiviteit, behalve dat er een grote spreiding tussen de minimale en maximale kosten zit.

In het algemeen is een vloeiveld in aanleg en beheer goedkoper dan een infiltratieveld (stelsel van drainage en dergelijke), daar staat tegenover dat om het zelfde rendement te halen voor een vloeiveld meer ruimte nodig is met mogelijk hogere kosten (afhankelijk van bijvoorbeeld de grondprijs). Ruimtebeslag en de hierbij gepaarde kosten kan echter een relatief begrip zijn als functies als 'recreatie' en 'ecologische verbindingzone' aan het filter worden toegevoegd.

- Kostenindicatie vloeiveld € 15,-/m², verticaal doorstroomd € 50/m².
- Ruimtebeslag is sterk afhankelijk van ontwerpuitgangspunten: vloeivelden hebben iha een hogere hydraulische belasting en ruimtegebruik dan verticaal doorstroomde filters (factor 2-5).
- Kosteneffectiviteit tov andere systemen: voor de verontreinigingen in afstromend regenwater (probleemstoffen vaak PAK en ZM en relatief weinig nutriënten) zijn naast helofytenfilters ook bezinkingsvijvers, lamellenfilters en bodempassages kosteneffectief.

TABEL 5.1

VERGELIJKING DIVERSE FILTERS TEN BEHOEVE VAN BEOORDELING OP KOSTENEFFECTIVITEIT

	Ruimtebeslag	Rendement	Kosten	Beheer
Vloeiveld	0/-	0	+	+
Infiltratieveld horizontaal	+	+	0/-	0
Infiltratieveld verticaal	+	+	-	0

TABEL 5.2 EIGENSCHAPPEN VERSCHILLENDE ECOTECHNOLOGISCHE SYSTEMEN (STOWA, WATERHARMONICA)

Eigenschappen	Openwater-moerassystemen	Infiltratievelden en wortelzonesystemen
Ruimtegebruik	hoog	matig
Aanlegkosten	matig	hoog
Onderhoudskosten	matig	matig
Zuiverend vermogen per m ²		
BZV/CZV/zwevend stof	hoog	hoog
Nutriënten	laag-matig	matig
Zware metalen	waarschijnlijk laag	hoog
Pathogenen	hoog	hoog
Ecologie		
Inbreng zuurstofregiem	hoog	laag
Inbreng hogere organismen	hoog	laag
“Kweken” natuurlijk ecosysteem	hoog	matig
Toevoegen van natuurwaarde	hoog	matig
Mogelijkheden voor ...		
Recreatie	hoog	matig
Verdrogingsbestrijding	hoog	hoog
Educatie	hoog	hoog
Natuurontwikkeling	hoog	matig
waterberging	hoog	laag

5.4.4 BEHEERSASPECTEN

Het onderhoud bestaat uit het maaien van het riet waarbij de door de planten opgenomen stoffen worden afgevoerd. Er moet bovendien rekening gehouden worden met de groeiomstandigheden van de helofyten zodat ze niet afsterven. Men dient het filter regelmatig te controleren op mogelijke verstopping en het optreden van voorkeurstromen.

Over de beheerskosten in de praktijk is weinig bekend.

5.4.5 ROBUUSTHEID

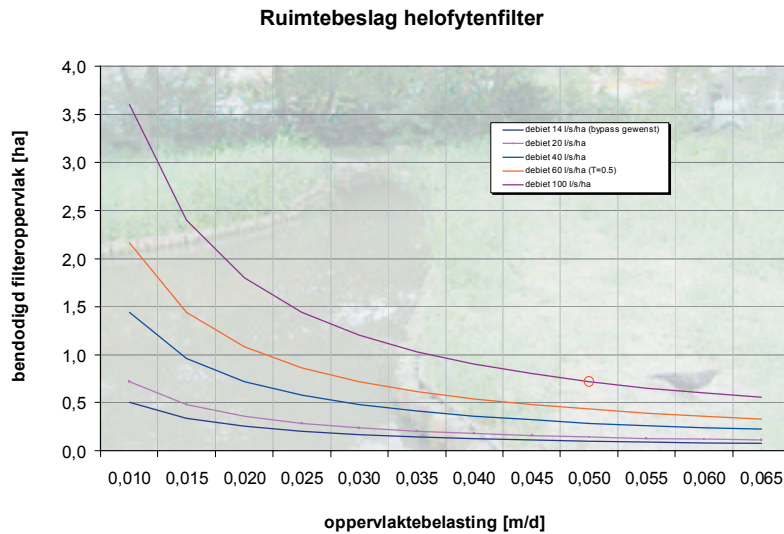
Een helofytenveld behaalt het hoogste rendement wanneer het gelijkmatig wordt belast en wanneer de ledigingstijd niet te kort is, de processen moeten hun werk kunnen doen. Bij voortdurende en volledig gevulde filter, is er een zuurstofloze situatie in tegenstelling tot kortdurend vullen en draineren, hiermee wordt bepaald welke verontreinigingen worden verwijderd. De helofyten zijn dus niet goed bestand tegen grote schommelingen.

5.4.6 RUIMTEBESLAG/INPASBAARHEID

Een helofytenveld bestrijkt over het algemeen een groot oppervlak, hierdoor neemt het in dichtstedelijk gebied kostbare grond in beslag. Voor dichtstedelijke gebieden is de voorziening dus minder geschikt. Een helofytenveld is ‘kansrijk’ in de omgeving mits er voldoende ruimte is om optimaal te functioneren. In stedelijk gebied kan een helofytenfilter ook zorgen voor “groen” in de wijk, wat zorgt voor een meerwaarde.

Recreatief gebruik kan schadelijk zijn voor het filter en recreatief gebruik van het filter kan risico’s met zich meebrengen (verdrinkingsgevaar). Door een adequate inrichting en beheer (duidelijk overzicht van grens land en water en het geleiden van betreding van het filter met paden) kan een multidisciplinair filter ontstaan.

FIGUUR 5.9 RUIMTEBESLAG VAN EEN HELOFYTENFILTER



Het ruimtebeslag van een helofytenfilter hangt met name af van de ontwerpuitgangspunten (hydraulische belasting), regulier wordt voor de oppervlaktebelasting waarden aangehouden van 0,02-0,05 m/d. De rode cirkel is de praktijksituatie in de Erasmusgracht in Amsterdam (zie voorbeelden).

5.4.7 OVERLAST

Bij een helofytenveld kan een pomp worden toegepast om het water rond te pompen, dit kan voor enige geluidsoverlast zorgen. De pomp voorkomt echter wel stankoverlast door het stilstaande water rond te pompen, waardoor er zuurstof in het water komt. Van andere voorbeelden van overlast als 'muggen' zijn geen voorbeelden gevonden.

5.5 ONTWERPRICHTLIJNEN

5.5.1 ALGEMEEN

Er bestaan geen landelijke richtlijnen voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud en beheer van helofytenfilters voor afstromend regenwater. Vanwege de complexe werking bestaat er weinig inzicht in het zuiveringsrendement en in de werking van de verschillende zuiveringsprocessen. De zuivering door het helofytenfilter is daarom vaak als een black box beschouwd: 'het water gaat erin en komt er schoner weer uit'. De ingaande component is in dit geval het afstromende regenwater, neerslag en kwel. De uitgaande component bestaat uit: wegzijging, verdamping en uitstroom. Zowel de detaillering als aanleg van helofytenfilters is specialistisch werk. Dat geldt zeker voor de beoordeling of een helofytenfilter als behandeling geschikt is (gelet op de samenstelling van het water) en de te verwachten rendementen.

Op basis van de bestaande inzichten kan echter wel een aantal algemene ontwerprichtlijnen worden geformuleerd. In dit hoofdstuk wordt hier op ingegaan.

5.5.2 ONTWERP

Vloevelden en verticaal of horizontaal doorstroomde helofytenfilters kunnen afzonderlijk of gecombineerd worden toegepast. Een vloeveld is relatief goedkoop. Een vloeveld kan daarom goed als voorzuivering en bergende voorziening worden toegepast voor een horizontaal of verticaal doorstroomd helofytenfilter. In deze paragraaf worden enkele ontwerpuitgangspunten weergegeven die worden toegepast.

VLOEIVELDEN

- De waterhoogte in een vloeveld is minimaal 0,1-0,2 meter. De maximale waterhoogte is 1 meter (kortdurend)
 - Voor de verblijftijd van hemelwater in een vloeveld bestaan geen algemene richtlijnen. Bij andere dunne waterstromen (oppervlaktewater/RWZI-effluent) wordt vaak een verblijftijd van 10 dagen als norm gehanteerd. Bij de verwijdering van zwevende stof door bezinking kan worden uitgegaan van een minimum verblijftijd van 1-2 dagen
 - Bij de keuze van de locatie moet rekening worden gehouden met bladval. Bepaalde bladeren kunnen voor een verhoogde zuurgraad van het water zorgen, waardoor vastgelegde zware metalen mobiel kunnen worden en zich kunnen gaan verplaatsen
 - Bij vloevelden bestaan veel mogelijkheden met betrekking tot beplanting. Vaak worden vloevelden aangeplant met lokaal riet (*Phragmites australis*). Er zijn ook andere opties, zoals [102]:
 - Mattenbies
 - Grote lisdodde
 - Rietgras
 - Pitrus

De keuze valt meestal op riet vanwege:

 - Een sterk ontwikkeld wortelstelsel
 - Droogteresistentie
 - Vorstresistentie
 - Een grote tolerantie voor schommelingen in waterpeil
 - Er zijn ook voorbeelden van vloevelden die als moerasbos zijn ingericht
 - Het belangrijkste is het kiezen van de juiste omstandigheden voor de gewenste plantensoort (waterdiepte, stroomsnelheid, maaibeheer)
- Afhankelijk van de kwaliteit van het hemelwater en de locatie van het vloeveld kan gekozen worden voor een onderafdichting. Opties zijn klei of folie. Soms wordt de onderafdichting gecombineerd met geotextiel. Stem het geotextiel af op de omliggende grondslag. Overweeg of een meerlaags filterdoek nodig is. Vooral de korrelverdeling van de grondslag is van belang. Een 'standaard' geotextiel kan door dichtslibbing op termijn tot problemen leiden. Eenmaal dichtgeslibd, kan het textiel zonder ingrijpende maatregelen niet of nauwelijks meer goed doorlatend worden [36]

HORIZONTAAL DOORSTROOMDE HELOFYTENFILTERS

Horizontaal doorstroomde helofytenfilters zijn voor zover bekend nog niet toegepast voor de behandeling van hemelwater. De reden hiervoor is eenvoudig. Hemelwater wordt gekenmerkt door een hoge piekafvoer. Horizontaal doorstroomde helofytenfilters hebben een kleiner doorstroomd oppervlak en daarmee een lagere hydraulische capaciteit dan verticaal doorstroomde helofytenfilters. Toepassing ligt daarmee niet voor de hand. Er zal verder niet worden ingegaan op horizontaal doorstroomde helofytenfilters.

VERTICAAL DOORSTROOMDE HELOFYTENFILTERS

- De doorlatendheid van het zandpakket is bepalend voor de oppervlaktebelasting van het filter. Een gangbare hydraulische belasting is $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$. Er zijn echter voorbeelden van hogere belastingen uit de praktijk bekend
- Een specifiek aspect bij het ontwerp van verticaal doorstroomde helofytenfilters is het vulregime. Als gekozen wordt voor voortdurend en volledig met water gevulde filters, zal er eerder sprake zijn van zuurstofloze of omstandigheden. Hier kan voor gekozen worden als stikstof moet worden verwijderd. Vaak wordt echter gekozen voor het kortdurend vullen en draineren van het filter (intermitterende bedrijfsvoering). Hierbij wordt veel zuurstof in het filter gebracht. Dit is bijvoorbeeld gunstig voor de verwijdering van organisch materiaal (CZV- en BZV-verwijdering) en voor het verwijderen van fosfaat
- De verdeling van water over een verticaal doorstroomd helofytenfilter luistert nauw. Als de waterverdeling niet goed is zal een deel van het filter altijd nat zijn en zal het andere deel van het filter niet worden gebruikt. Een gebruikelijke wijze om water te verdelen is een stelsel van geperforeerde buizen in de bovenste grindlaag. Dit waterverdeelsysteem is kwetsbaar en kan bijvoorbeeld bij het maaien eenvoudig worden stukgereden. Een andere optie is het werken met een afsluiter in de afvoer, die pas opengaat als het filter volledig is gevuld, dit is een zogenaamd 'fill and draw'-principe
- Verticaal doorstroomde helofytenfilters worden gewoonlijk aangeplant met lokaal riet (*Phragmites australis*). Voor de plantdichtheid wordt vaak uitgegaan van 6 planten per m^2 . Voor verticaal doorstroomde helofytenfilters wordt verondersteld dat de wortels van het riet voorkomen dat het filter dichtslibt
- Het filtermateriaal moet grof genoeg zijn om het water door te laten, maar voldoende fijn om voldoende filtercapaciteit te leveren. Een veelgebruikte optie is grof zand met daarop een grondlaag. Aan het filterbed kunnen verschillende toevoegingen worden gedaan. De belangrijkste opties zijn humus voor het binden van organische verontreinigingen en ijzer en calcium voor het binden van fosfaat
- Het water dat het filterbed gepasseerd heeft, moet onderin het filter worden verzameld. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van een laag grind die aan alle zijden omsloten wordt met geotextiel. In deze laag worden drainagebuizen aangebracht om het water af te voeren. Als onderafdichting kan worden gekozen voor een kleilaag of een folie
- Het heeft de voorkeur om het helofytenveld pas aan te leggen in de fase van het woonrijp maken. Tijdens en na het bouwrijp maken kan de voorziening namelijk vervuild en beschadigd raken
- Tracht bij ontgraven het filterbed zo min mogelijk te verdichten, zodat de waterdoorlatendheid behouden blijft. Dit geldt overigens ook voor het maaien. Ook een geotextiel dient bij voorkeur droog en schoon aangebracht te worden, om verminderde doorlatendheid door dichtslibbing te voorkomen.
Verwijder stenen en andere scherpe objecten om beschadiging van het geotextiel en andere materialen en daarmee van grondinspoeling, te voorkomen. Graaf de sleuf dieper uit dan de ontwerpdiepte en breng op de bodem een laag (drain)zand aan. Zeker bij gronden met een lage k-waarde ontstaat zo enige extra berging en een geleidelijke overgang naar de ongeroerde grond [36]

5.5.3 AANLEG

- Leg de voorziening zo laat mogelijk aan.
Het heeft de voorkeur om helofytenveld pas aan te leggen in de fase van het woonrijp maken. Tijdens en na het bouwrijp maken kan de voorziening namelijk vervuild en beschadigd raken
- Voorkom verdichting van de ondergrond
Tracht bij ontgraven de bestaande ondergrond zo min mogelijk te roeren en te verdichten, zodat de waterdoorlatendheid behouden blijft. Aanleg tijdens natte perioden kan leiden tot versmering van de bodem, waardoor een ondoorlatende laag ontstaat. Ook een geotextiel dient bij voorkeur droog en schoon aangebracht te worden, om verminderde doorlatendheid door dichtslibbing te voorkomen
- Zorg voor een vlakke onderzijde van het ontgraven cunet.
Verwijder stenen en andere scherpe objecten om beschadiging van het geotextiel en andere materialen en daarmee van grondinspoeling, te voorkomen. Graaf de sleuf dieper uit dan de ontwerpdiepte en breng op de bodem een laag (drain)zand aan. Zeker bij gronden met een lage k-waarde ontstaat zo enige extra berging en een geleidelijke overgang naar de ongeroerde grond [36]

5.5.4 BEHEER

- Eén van de belangrijkste onderhoudshandelingen is het maaien van het riet. Het maaien dient een aantal doelen [102]:
 - *Afvoer van stoffen.* Met het maaisel worden nutriënten en metalen afgevoerd. Het exacte tijdstip van maaien heeft invloed op de hoeveelheid stoffen die op deze wijze met de planten kan worden afgevoerd
 - *Vitaal houden.* Om een helofytenfilter vitaal te houden, moet de beheerder het riet periodiek maaien. De maai-frequentie varieert van jaarlijks tot driejaarlijks. De beste maaitijd van riet is aan het eind van de winter. Het maaisel kan bij dit type filter niet blijven liggen. Voor infiltratievelden is het najaar de beste maaitijd. Het afgemaaide riet moet daar juist wel blijven liggen op het bed. Dit biedt in de winter bescherming tegen vorst. Om het vrijkomen van voedingsstoffen uit rottend riet te voorkomen, moet de beheerder het dode riet in het voorjaar verwijderen. Riet mag niet te kort worden gemaaid. Als water zich in de gemaaide rietstengels ophoopt kan het afsterven. Een lengte van 30-40 cm boven het normale waterniveau is een gebruikelijke maaihoogte
 - *Ongewenste beplanting verwijderen.* Het maaien is van belang om de beplanting voldoende klein te houden. Grote planten (struiken en bomen) kunnen met het wortelstelsel het filter beschadigen. Door regelmatig te maaien wordt de ontwikkeling van deze planten beperkt
- Het ontwerp van een helofytenveld is maatwerk. In de praktijk hebben een afwijkende bodemopbouw, het grondwaterstandverloop, de wijzigingen bij de uitvoering en het uitgevoerde onderhoud een grote invloed op de werking van het systeem. Daarom is het verstandig om de voorziening periodiek te (blijven) observeren, om zo het functioneren in de tijd te volgen. Mogelijk kunt u met een kleine ingreep een grote verbetering van de werking van de voorziening bewerkstelligen. U moet de duur en frequentie van uw observatie afstemmen op het resultaat van de voorziening. Bij een constant resultaat kunt u de voorziening minder vaak monitoren. Bij een wisselend resultaat of een afnemend functioneren van de voorziening is langer en/of frequenter monitoren gewenst
- Zwerfvuil in het helofytenfilter kan de doorlatendheid verminderen, maar het is vooral onesthetisch. De frequentie van schoonmaken moet worden afgestemd op de snelheid waarmee de wadi vervuult [48]

- Er is nog geen langdurige ervaring met helofytenfilters. Het is daarom moeilijk te voorspellen hoe vaak het vloeiveld moet worden gebaggerd of hoe vaak een het filterbed van een verticaal doorstroomd filter moet worden vervangen. Vaak wordt er van uitgegaan van dat een helofytenfilter een levensduur heeft van 20 tot 30 jaar

5.6 VOOR- EN NADELEN

VOORDELEN

- Een goed ingericht en vormgegeven helofytenfilter verschaft veel belevingswaarde voor mens en dier in de stad en kan ook als recreatieve/esthetische/educatieve functie worden ingericht (denk aan looppaden en informatieborden)
- Het bovengronds gelegen systeem is inzichtelijk, eventuele vervuiling is direct zichtbaar

NADELEN

- Een helofytenfilter neemt relatief veel ruimte in beslag.
- Inrichting en beheer vragen kennis van ecologie en is betrekkelijk arbeidsintensief

5.7 ERVARINGEN

5.7.1 ERASMUSGRACHT

Praktijkervaringen met een horizontaal doorstromend helofytenfilter zijn opgedaan bij Waternet (het voormalige DWR). Dit betrof een combinatie van een helofytenfilter met een bezinkbassin aan de Erasmusgracht in Amsterdam. In een artikel in Neerslag Magazine [105] wordt beschreven hoe het onderzoek is opgezet en wat de belangrijkste resultaten waren.

Het filter is aangelegd om te kijken of het als alternatief kan dienen voor de aanleg van een verbeterd gescheiden riool. Het filter doet dienst als nazuivering van regenwaterlozingen. Deze regenwaterlozingen bestaan uit afwateringen uit woonwijken en verkeerswegen in het achterliggende gebied. Het totale oppervlakte van het behandelde gebied bedraagt 2,4 ha waarvan 1,8 ha verhard is.

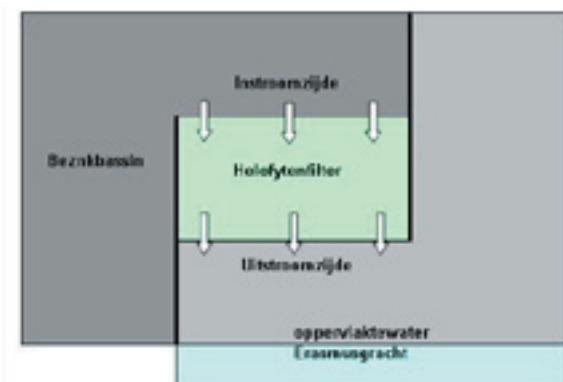
Metingen zijn op een drietal punten verricht: het afstromende regenwater uit het regenwaterriool, het instromende water uit het bezinkbassin en het uitstromende water uit het filter. Voor deze opzet is gekozen omdat zo inzichtelijk kan worden gemaakt voor welk gedeelte van de verwijdering de bezinkbak en voor welk deel het filter verantwoordelijk is. Het eigenlijke filter bestaat uit twee delen, de eerste meters van de instroomzijde zijn lager ontworpen, dit deel doet dienst als vloeiveld. De middelste 15 meter liggen hoger en doen dienst als wortelzonesysteem oftewel een horizontaal doorstroomd filter.

Uit de resultaten blijkt dat vooral het bezinkbassin effectief werkt. Gecombineerd met het filter nam het rendement nog verder toe. Het bezinkbassin heeft een hoog rendement voor: nutriënten, zwevende stof, zware metalen en PAK. Het filter zorgt voor een nazuivering. Gecombineerd levert dit de volgende rendementen op: zwevende stof circa 85 %, totaal stikstof circa 80 %, totaal fosfaat tot circa 65 %, koper circa 95 %, lood circa 94 % en PAK circa 91 %.

Als aanbeveling wordt meegegeven om het filtergedeelte niet te groot te dimensioneren vanwege de in verhouding tot de bezinkbassin hoge kosten. Hij moet zodanig gedimensioneerd worden dat het voldoende groot is om de belevingswaarde te garanderen.

FIGUUR 5.10

SCHEMATISCHE VOORSTELLING HELOFYTENFILTER ERASMUSGRACHT



TABEL 5.3

GEMETEN RENDEMENTEN HELOFYTENFILTER ERASMUSGRACHT

stof	Gemiddeld bezinking	Gemiddeldfilter	Totaal
zwevend stof	80	27,5	83
totaal Stikstof	60,5	53,5	72
totaal fosfaat	36	44	53
chrom	86,5	29	91
koper	84,5	71	96
zink	85,5		93
nikkel	77	43	85
cadmium	62	41	51
lood	80,5	66	97
PAK	87,5	33	88

5.7.2 ZEEWOLDE

Voor de gemeente Zeewolde en waterschap Zuiderzeeland is adviesbureau Grontmij bezig met de advisering voor een zuiveringsfilter ter behandeling van afstromend regenwater uit stedelijk gebied. Het gaat om een reeds bestaand filter welke in de jaren '80 is aangelegd voor de nabehandeling van effluent van een RWZI. Sinds enkele jaren wordt het filter niet meer gebruikt. Het stedelijk gebied is te typeren als bedrijventerrein (Trekkeveld 2 en Trekkeveld 3). Beide terreinen zijn uitgerust met een verbeterd gescheiden stelsel (VGS).

Er ligt een Plan van Aanpak. In dit Plan van Aanpak is een uitgebreide monitoring opgenomen van de kwantitatieve en kwalitatieve werking van het zuiveringsfilter. Het zuiveringsfilter is van het vloeiendtype, eventueel uitgevoerd met chemische defosfatering.

Theoretisch is het te verwachten zuiveringsrendement bepaald. Voor fosfor zal dit 30 % zijn, het rendement voor de overige stoffen zal hetzelfde zijn als die van fosfor omdat het rendement grotendeels wordt bepaald door bezinking van deeltjes. Daarnaast is er in het Plan van Aanpak aandacht voor het beheer en onderhoud van het zuiveringsfilter. De te verwachten jaarlijkse kosten zijn gespecificeerd naar aanleiding van het te verwachten beheer. Qua opzet zal dit onderzoek vergelijkbaar zijn met het onderzoek in Arnhem naar drie zuiverende voorzieningen.

5.7.3 UTRECHT

Aan de rand van Leidsche Rijn is momenteel een proef gaande met een helofytenfilter voor de zuivering van het oppervlaktewater van Leidsche Rijn. Dit filter bevindt zich nu nog in de testfase, uiteindelijk zal er een filter komen te liggen met een oppervlakte van 5 hectare. Dit filter is specifiek bedoeld voor de zuivering van het oppervlaktewater. In Leidsche Rijn streeft men naar een gesloten watersysteem waarbij ten aanzien van de waterkwaliteit gekozen is voor een hoog ambitieniveau. Concreet streeft men naar een doorzicht van één meter in het watersysteem. Indirect zuivert dit helofytenfilter ook het regenwater, 80 % van het verharde oppervlak in Leidsche Rijn (op sommige plaatsen zelfs 100 %) is afgekoppeld. Het filter wordt specifiek ingezet om fosfaat te verwijderen. De proef duurt in totaal 3 jaar en wordt mede ondersteund door Europese subsidie. Tot nog toe is de werking van het filter vrij goed te noemen, ondanks de afwezigheid van riet. Via een website [106] is het hele project te volgen. Meetgegevens komen nog beschikbaar omdat er monitoring plaatsvindt.

FIGUUR 5.11

HELOFYTENVELD LEIDSCHERIJN



5.7.4 ARNHEM

De gemeente Arnhem gaat een helofytenfilter aanleggen voor de zuivering van regenwater. Dit helofytenfilter bestaat uit twee onderdelen: allereerst een bezinkbak waar de zwaarste deeltjes kunnen bezinken en vervolgens het eigenlijke helofytenfilter. Dit is hetzelfde systeem als in Amsterdam al eerder aan de Erasmusgracht is toegepast. Dit systeem is daar dan ook op gebaseerd, zodoende wordt gebruikt gemaakt van de in Amsterdam opgedane ervaringen. In het waterplan [107] van de gemeente Arnhem is als doelstelling opgenomen dat deze gerealiseerd moeten zijn voor 2010.

5.7.5 A1 IN HET GOOI

In een deel van de oorspronkelijke afwateringsloot langs de A1, ter hoogte van Witte Bergen: kilometervak 28,2-28,8 in 't Gooi, heeft het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, wegendistrict Amsterdam, regio Noord-Holland, een helofyteninfiltratiesloot voor zuivering van het afstromende wegwater van de A1 aangelegd. Een gedetailleerde en geoptimaliseerde dimensionering van de infiltratievoorziening ontbreekt, maar bij de aanleg van de voorziening is rekening gehouden met enkele ruwe vuistregels, zoals 200 m² filteroppervlak per 1 hectare ZOAB wegdek. Het daadwerkelijke filteroppervlak van het helofytenfilter is 250 m² groot. Het oppervlak van het ZOAB wegdek, dat afwatert op de helofyteninfiltratiesloot bedraagt 1,8 hectare.

De helofyteninfiltratiesloot bestaat uit drie compartimenten: een opvangbassin, een verticaal doorstroomd helofytenfilter en een schoonwaterput met overstort naar een eindinfiltratieveld aangesloten op de oude afwateringsloot.

Het zuiveringsrendement van de helofyteninfiltratiesloot voor PAK is gemiddeld 93 % per jaar. Dit is 4 % van de totale verwijdering (100 %) uit het wegwater. Het zuiveringsrendement voor zware metalen ligt lager dan die van PAK. Van zink is gemiddeld 56 % van de binnenkomende vracht vastgelegd. Dit is 34 % van de totale verwijdering van zink (74 %). Voor koper is het zuiveringsrendement gemiddeld 18 % per jaar. Ten opzichte van de totale verwijdering van koper (33 %) is dit 14 %. Dit zijn de resultaten van de monitoring die heeft plaatsgevonden van 27 januari 2003 tot 5 september 2004⁶.

⁶ Tromp, K. (2005), Helofyteninfiltratiesysteem voor zuivering van wegwater: Onderzoek naar het milieurendement van een helofyteninfiltratiesloot langs de A1 in 't Gooi, Utrecht

6

BEZINKVIJVER/-BAK

Een bezinkvijver/-bak is een natuurlijke of betonnen constructie, waarin berging of afscheiding van bezinkbare stoffen uit afstromend regenwater plaatsvindt.

De kosten per m² zijn afhankelijk van de manier waarop de voorziening gedimensioneerd wordt. In veel gevallen varieert de prijs tussen de EUR 6,- en EUR 12,- per m² aangesloten oppervlak.

Bezinkvoorzieningen zoals bezinkvijvers worden vaak zonder bypass constructie aangelegd en gedimensioneerd op een ontwerpbelasting variërend van 20 tot 60 l/s/ha. Bij het ontwerp wordt uitgegaan van een oppervlaktebelasting (S_0) van de voorziening in de orde van 1-3 m/h. De inlaatsnelheid in de bezinkvijver dient beperkt te zijn (bv maximaal 0,3-0,5 m/s), hiermee wordt voorkomen dat bezonken slib opwoelt.

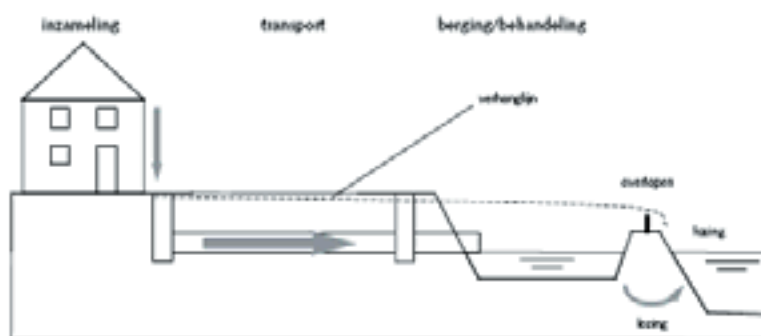
Het beheer bestaat regulier uit het baggeren van de vijver/bak en het verwijderen van drijfvuil.

6.1 DEFINITIE

Onder een bezinkvijver/-bak wordt verstaan:

Een voorziening die zorgt voor de berging of afscheiding van bezinkbare stoffen uit afstromend regenwater afkomstig uit het gescheiden stelsels.

FIGUUR 6.1 SCHEMATISCHE VOORSTELLING RETENTIE- EN BEZINKVIJVER [39]



6.2 WERKING

Een bezinkingsvijver is wordt vaak zodanig ontworpen dat deze zowel een bergende als zuiverende functie herbergt. Zuivering vindt plaats door middel van bezinking, adsorptie en microbiële processen. Speciale aandacht is er voor de verwijdering van het slib. Hierin zal de meeste vervuiling zich bevinden. Als de bergingscapaciteit van de vijver wordt overschreden treedt een overloop in werking. Vijvers kunnen afhankelijk van de geohydrologische omstandigheden tevens fungeren als infiltratievoorziening, in dat geval spreekt men van een infiltratievijver. Op sommige plaatsen wordt infiltreren kunstmatig tegengehouden vanwege angst voor mogelijke vervuiling van bodem en grondwater [44].

Bezinkbakken worden tevens vaak gebruikt voor het bufferen van het afstromende hemelwater voordat het geloosd wordt op het oppervlaktewater. Een bezinkbak is een bassin dat onder droogweersomstandigheden geen hemelwater zal bevatten indien bijvoorbeeld een pomp het water uit de bak naar het oppervlaktewater pompt (pomp dient tevens als bypass, debieten die hoger zijn dan de pompcapaciteit storten direct over op het oppervlaktewater).

Bij neerslag zal het bassin worden gevuld via een zogenaamde interne overstortdrempel. Bij aanhoudende neerslag verlaat het water het bassin via de zogenaamde externe overstortdrempel waarmee op het oppervlaktewater wordt geloosd. Een bergbezinkvoorziening is zodanig ingericht en ontworpen dat drijvende en bezinkbare stoffen zullen worden verwijderd. De bergbezinkvoorzieningen staan door een kleine opening permanent in verbinding met het oppervlaktewater. Over het algemeen worden ze aan de randen van woonwijken aangelegd [45].

Het functioneren van een bezinkvoorziening hangt af van:

- De inhoud van de vijver in relatie tot het afvoerende oppervlak
- De samenstelling van het regenwater dat wordt afgevoerd (mate van vervuiling)

6.3 SYSTEMEN

In bovenstaande paragraaf zijn de twee systemen beschreven.

6.4 CRITERIA

Om de verschillende voorzieningen met elkaar te vergelijken zal bij elk van de voorzieningen gekeken worden naar dezelfde criteria.

6.4.1 INVESTERINGSKOSTEN EN EXPLOITATIEKOSTEN

De kosten zijn sterk afhankelijk van de uitvoeringswijze. De voorziening kan ook worden gecreëerd door een deel van het oppervlaktewater te isoleren.

Er is niet veel informatie over de kosten van bezinkvijvers/-bakken en daarnaast zijn de kosten die gemaakt moeten worden voor de realisatie van de verschillende uiteenlopende varianten, niet eenvoudig met elkaar te vergelijken.

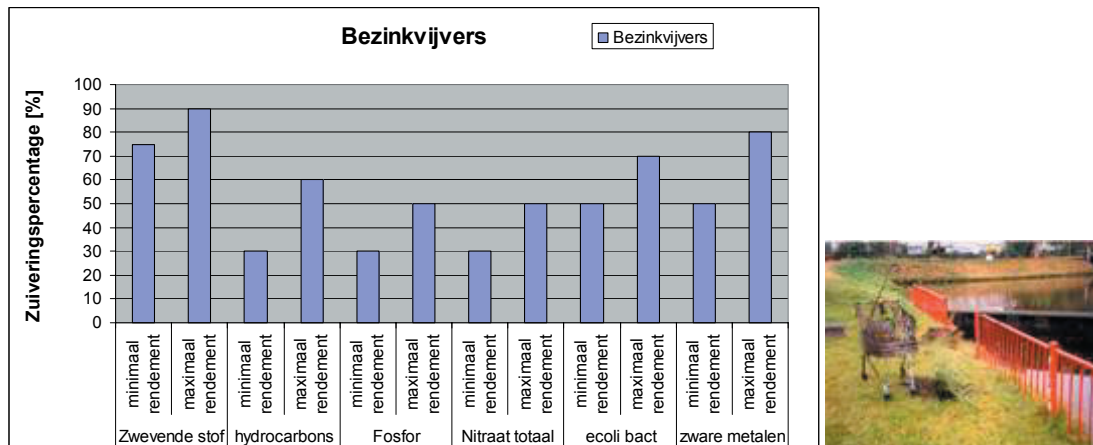
De kosten per m² zijn afhankelijk van waarop de voorziening gedimensioneerd wordt. Wordt er voor het debiet uitgegaan dat 90 % van het afstromende water behandeld moet worden door de voorziening, dan kan men als indicatie uitgaan van EUR 6,- per m² aangesloten oppervlak. Wordt de voorziening gedimensioneerd op een bui met een herhalingsstijd van T=25, dan dient ter indicatie EUR 12,- per m² aangesloten oppervlak⁷.

6.4.2 RENDEMENT

Er is geen algemene uitspraak te doen over het specifieke rendement van deze voorzieningen aangezien deze sterk afhangen van het ontwerp en de locatiespecifieke factoren (kwantitatieve en kwalitatieve belasting en onderhoud en beheer). Door deze factoren is er ook een spreiding te zien in het minimale en maximale rendement (zie figuur 6.2).

⁷ Rens, van C. (2006), Zuiveren van afstromend hemelwater: Beslismodel ter ondersteuning van keuze voor bronmaatregelen en 'end of pipe'-voorzieningen, afstudeerrapport Universiteit Twente

FIGUUR 6.2 ZUIVERINGSRENDEMENT BEZINKVIJVERS [46], FOTO: 'RENDEMENT ZWARE METALEN VAN BEZINKBAK', ZIE VOORBEELDENBOEK: 'JULIANAPARK AMSTERDAM'



6.4.3 BEHEERSASPECTEN

Rekening moet worden gehouden met beheerkosten voor het verwijderen van de sliblaag als gevolg van het bezinken van deeltjes die zijn meegekomen in het hemelwater afkomstig van verhard oppervlak. Naast het slib moet ook het drijfvuil verwijderd worden. De frequentie waarmee dit dient te gebeuren, zal afhankelijk zijn van het aangesloten oppervlak.

6.4.4 ROBUUSTHEID

De voorzieningen hebben over het algemeen een groot oppervlak waardoor ze een schommeling in het debiet kunnen opvangen en door hun omvang zijn ze ook in staat fluctuerende concentratievrachten op te vangen. Bij calamiteiten zijn bezinkbakken verder eenvoudig te isoleren van het oppervlaktewater waardoor de gevolgen beperkt blijven.

6.4.5 RUIMTEBESLAG/INPASBAARHEID

Bij een bestaande vijver is een bezinkvoorziening goed in te passen. Hier hoeft dan alleen een gedeelte van de voorziening te worden afgescheiden/geïsoleerd. Bij een dichtbebouwd gebied waar nog geen vijvers/bakken aanwezig zijn, is het soms moeilijk/niet mogelijk om een dergelijke voorziening te realiseren.

6.4.6 OVERLAST

Aandacht verdient circulatie aangezien in droge periode de kans bestaat dat het water in de voorziening niet voldoende goed circuleert waardoor er dood of stinkend water kan ontstaan.

Bij het niet tijdig verwijderen van drijfvuil krijgt de bezinkbak/vijver een negatieve aanblik waar bewoners zich aan gaan storen/ergeren.

6.5 RICHTLIJNEN

6.5.1 ONTWERP

- De afmetingen/dimensies van voorzieningen hangen af van de kwantitatieve en kwalitatieve belasting en het gewenste rendement. Het verdient de voorkeur de bezinkvoorzieningen te dimensioneren met een regenreeks. Over het algemeen worden bakken (zonder bypass) gedimensioneerd op een ontwerpbelasting variërend van 20 tot 60 l/s/ha, de eerste belasting wordt circa bij 85 % van de inloop in het rioolstelsel overschreden, 60 l/s/ha wordt circa eens per twee jaar overschreden
- Bij het ontwerp dient de oppervlaktebelasting (S_o) van de voorziening in de orde van 1-3 m/h te liggen
- De vormgeving (lengte-breedte, 8:1, verhouding en diepte) bepalen tevens het rendement van de voorziening, aangezien door turbulentie en kortsluitstromen de bezinking van deeltjes negatief kan worden beïnvloed
- De inlaatsnelheid in de bezinkvijver dient bij voorkeur maximaal 0,3-0,5 m/s bedragen, hiermee wordt voorkomen dat bezonken slib opwoelt
- De stroming dient verdeeld te worden over het vijveroppervlak,
- De taluds van de bezinkvijver dienen bij voorkeur maximaal een helling hebben van 1:3. Dit in verband met de veiligheid: mochten er mensen/dieren te water raken, kunnen ze op eigen kracht uit de vijver komen. Overzicht en een duidelijke scheiding tussen land en water is gewenst. Het talud dient bij hoge ontwerpbelastingen bij voorkeur ook verstevigd te worden zodat uitspoeling voorkomen wordt [46]
- De inlaat en de uitlaat dienen op een maximale afstand van elkaar gerealiseerd te worden (door 'sigzaggen' kan in eenzelfde oppervlak een maximale afstand gecreëerd worden)
- Leg de ontwerp- en aanleggegevens van de voorziening goed vast.
Omdat het ontwerp van een bezinkbak/-vijver tot op heden niet gestandaardiseerd is, en het ontwerp bovendien afhankelijk is van de locatie, dienen beheerders ontwerpgegevens, de revisie van de aanleg, eventuele nulmetingen, opleveringsinspecties en uitgevoerd onderhoud goed vast te leggen.
Monitoor het gewenste onderhoud bij toepassing van bezinkbak/-vijver op locaties met veel bomen. Ten aanzien van rendement: bepaalde bladeren kunnen voor een verhoogde zuurgraad van het water zorgen dat van invloed is op de mobiliteit van vastgelegde zware metalen en het rendement in bepaalde mate kan beïnvloeden
- Bepaal vooraf de doorlatendheid (bij een bezinkvijver) van de bodem en de gemiddelde hoogste grondwaterstand.
- In Zweden hebben ze de volgende tabel opgesteld met richtlijnen voor het ontwerp van bezinkvijver/-bakken [47]:

FIGUUR 6.3

ZWEEDESE RICHTLIJNEN VOOR BEZINKVIJVERS

	Streefcriteria	Referentie
Water diepte	Minimum depth 1.5 m Medium depth 1.2 m Maximum depth 3.5 m	Urban Drainage and Flood Control District 1992 WEF and ASCE, 1992; EPA, 1992; EPA, 1997; Hydro-Quebec et al. 1992; Law, 1994
Slope	= 1:3 to 1:4 over maximum distance concerning entry, maintenance and the reduction of pollution. Minimum 1:3 if the ground is stable. Preferable 1:5 - 1:10, except during rain.	Urban Drainage and Flood Control District 1992; Pearson, 1992; EPA, 1992; EPA, 1997; Salvo-Jacobson et al. 1994; Law, 1994
Length: Width	>2:1 (= 2:1, recommended)	Urban Drainage and Flood Control District 1992; Pearson, 1992; Law, 1994
Area of the retention area	= 100 m ² (retention volume 0 m ³ , retention depth 20 cm)	Pearson and Law, 2000
Retention volume	= 0.25 m ³ (2000 m ²)	Stokeler, 1997
Retention area	Retention area < 100 m ² is preferred	Pearson and Law, 2000; Urban Drainage and Flood Control District 1992
Retention area	10-100 m ²	Lawson, 1992; Stokeler, 1997
Vegetation	Can be planted in the shallow part of the pond. Upper slope can cover up to 20-30 % of the surface.	SEPA, 1997; Urban Drainage and Flood Control District 1992; Stokeler, 1992
Water	The inlet should be constructed in a manner that incoming water evenly fills the pond, e.g. orifice.	Urban Drainage and Flood Control District 1992; Pearson, 1992; Salvo-Jacobson et al., 1994
Inlet and Outlet	Points of access at the inlet and outlet can be used for sampling.	-
Outlet	The outlet should be designed for an emptying time of 12-24 h (from 40 %).	Urban Drainage and Flood Control District 1992; Pearson, 1992; Urban Drainage and Flood Control District 1992; EPA, 1997
Outlet	Emergency spill structures are required for rain events < 25-100-year return interval. However, emergency spill can be connected with the outlet higher up. Storm rain events for 7-year up to 100-year.	Urban Drainage and Flood Control District 1992
Outlet	A V-shaped weir or sewer at the outlet provides a low maintenance outlet.	Pearson, 1992
Outlet	Outlet pipe at the outlet should be accessible.	SEPA, 1997
Outlet structure	Vertical screen at the inlet and outlet should be provided.	Urban Drainage and Flood Control District 1992
Groundwater protection	The pond can be below the groundwater level. The amount of this is best a permanent water level which defines the dry period.	-
Additional comments	A permeability limit may be provided as a separate part or as a final part of the pond adjacent to the inlet. This should be about 10 % of the permeable water surface and the volume should be about 5-10% of the main pond volume.	WEF and ASCE, 1992

6.5.2 AANLEG

- Voorkom verdichting van de ondergrond (infiltratievijver)
Tracht bij ontgraven de bestaande ondergrond zo min mogelijk te roeren en te verdichten, zodat de waterdoorlatendheid behouden blijft. Aanleg tijdens natte perioden kan leiden tot versmering van de bodem, waardoor een ondoorlatende laag ontstaat. Ook een eventueel geotextiel dient bij voorkeur droog en schoon aangebracht te worden, om verminderde doorlatendheid door dichtslibbing te voorkomen
- Zorg voor een vlakke onderzijde van het ontgraven cunet (bezinkvijver)
Verwijder stenen en andere scherpe objecten om beschadiging van een eventueel geotextiel (folie) en andere materialen en daarmee van grondinspoeling, te voorkomen. Graaf de sleuf dieper uit dan de ontwerpdiepte en breng op de bodem een laag (drain)zand aan.

6.5.3 BEHEER

- Slib/vuil verwijderen
Om voldoende stroomprofiel te houden en voldoende bergingscapaciteit dient de vijver/bak gebaggerd te worden, de frequentie hangt af van o.a. het aangesloten oppervlak. Het drijfvuil kan frequenter worden verwijderd voor het wijkbeeld
- Eventueel kan een circulatiemogelijkheid van het water in de voorziening worden gecreëerd. Het is vaak niet gewenst dat de voorziening voor recreatieve doeleinden wordt gebruikt, dit kan door borden worden aangegeven

- Volg het functioneren van de voorziening.
Het ontwerp van een bezinkbak is maatwerk. In de praktijk hebben een afwijkende bodemopbouw, het grondwaterstandverloop, de wijzigingen bij de uitvoering en het uitgevoerde onderhoud een grote invloed op de werking van het systeem. Daarom is het verstandig om de voorziening periodiek te (blijven) observeren, om zo het functioneren in de tijd te volgen. Mogelijk kunt u met een kleine ingreep een grote verbetering van de werking van de voorziening bewerkstelligen. U moet de duur en frequentie van uw observatie afstemmen op het resultaat van de voorziening. Bij een constant resultaat kunt u de voorziening minder vaak monitoren. Bij een wisselend resultaat of een afnemend functioneren van de voorziening is langer en/of frequenter monitoren gewenst [48]
- De resultaten van een onderzoek naar 34 bezinkvijvers in Zweden van Farm (2003) toonden aan dat het beheren van deze systemen bemoeilijkt wordt door slechte toegang tot de vijvers. In 18 van de 34 vijvers, omvatte de vegetatie 50 % of meer van de oppervlakte. De vegetatie speelt een belangrijke rol in het bezinken en filtreren van deeltjes in het regenwater. De bezinkbak/-vijver kan ook nutriënten accumuleren. Echter, teveel vegetatie kan het hydraulische functioneren van de vijver verminderen, de tijd dat het water wordt vastgehouden wordt verhoogd. Dit kan resulteren tot een algengroei tijdens bepaalde periodes van het jaar. Bij deze omstandigheden moet de vegetatie verwijderd worden [47]

6.6 VOOR- EN NADELEN

VOORDELEN

- Een bovengrondse bezinkbak kan ingeplant worden waarbij naast bezinking ook de afbraak van verontreinigingen wordt gerealiseerd
- Er kan een open verbinding worden gerealiseerd tussen de voorziening en het oppervlaktewater waarbij er een uitwisselingsmogelijkheid is voor flora en fauna
- Door een goede, natuurlijke inrichting van het bassin kan deze esthetisch een verrijking zijn van het stadsbeeld en de leefbaarheid op deze wijze bevorderen
- Eenvoudig te ontwerpen en bouwen
- Eenvoudig te onderhouden
- Veilig en zichtbaar vasthouden van incidentele verontreinigingen
- Kan een breed scala aan regenvalgebeurtenissen opvangen
- Kan gebruikt worden waar het grondwater kwetsbaar is, wanneer de bodem is afgesloten
- Goede verwijderingscapaciteit van stedelijke vervuiling
- Wordt goed geaccepteerd door de gemeenschap
- Groot potentieel voor ecologische en esthetische doeleinden
- Kan de waarde van lokale eigendommen vergroten [55]

NADELEN

- Voor een goed functioneren is adequaat onderhoud vereist
- Weinig reductie van het runoff volume
- De bezinkingsdiepte kan beperkt worden bij de inlaat en uitlaat van het systeem
- Anaërobe condities kunnen optreden wanneer het water een tijd stil staat en niet ververst wordt
- Door het landgebruik is het moeilijk toe te passen in dichtbebouwde gebieden
- Voorzorgsmaatregelen voor de veiligheids- en gezondheidsrisico's kunnen ervoor zorgen dat de vijver wordt afgesloten en geïsoleerd [55]

6.7 ERVARINGEN

De volgende bezinkvoorzieningen (waar regenwater op afstroomt) worden besproken:

- Julianapark (bezinkbak in Amsterdam-Oost)
- Erasmusgracht (bezinkbak in Amsterdam-West)

6.7.1 BEZINKBASSIN IN HET JULIANAPARK

Dit bezinkbassin is gebouwd in '93 en is gelegen in het Julianapark in Amsterdam-Oost. Bij dit bassin is alleen een damwand aangebracht in het oppervlaktewater bij de regenwateruitlaat. Het afvoerende oppervlak bestaat uit een woonwijk en een tram- en busstation. Op dit bassin is 11 ha verhard oppervlak aangesloten.

CONCLUSIES

Het bezinkbassin heeft over het algemeen goed gefunctioneerd voor de verwijdering van de zware metalen. Gedurende de periode 1994-2002 is een grote hoeveelheid zwaar vervuild slib (klasse 4+) opgevangen. De zuivering van de nutriënten was minder; voor Kjeldahl stikstof en totaal fosfaat werd een negatief rendement gemeten. Het kan moeilijk zo zijn dat het eerder bezonken slib is opgewoeld door een extreme bui. De rendementen van de zware metalen zouden dan namelijk ook lager moeten liggen; deze binden beter aan het zwevend stof dan nutriënten. De metingen van het effluent voor nutriënten zouden meetfouten kunnen zijn. De voorziening voldoet voor bijna alle zware metalen aan de MTR-norm, voor de nutriënten wordt hier niet aan voldaan.

AANBEVELINGEN

Aan het bezinkbassin is gedurende acht jaar geen onderhoud gepleegd. Om het rendement van de bak te verbeteren wordt op basis van de meetresultaten de onderhoudsfrequentie van eens per twee jaar geadviseerd. Het bezinkbassin heeft nu een oppervlak van 375 m². Door het bezinkbassin groter te dimensioneren zullen de rendementen stijgen [77].

FIGUUR 6.4



6.7.2 BEZINKBAK ALS RANDVOORZIENING, ERASMUSGRACHT

De Erasmusgracht is gelegen in Amsterdam-West. Bij deze gracht is een bezinkbassin met helofytenfilter als randvoorziening geplaatst. Op de gracht zijn diverse uitlaten van het regenwaterriool aangesloten. Het onderzoeksgebied heeft een totaaloppervlak van 2,37 ha waarvan 1,84 ha verhard.

De beplanting van het filter bestaat uit riet. Er is gekozen voor een horizontaal doorstromend helofytenfilter (wortelzonesysteem) omdat dit in vergelijking met een vloeiveld minder ruimte in beslag neemt.

BIJZONDERHEDEN

Vanaf het begin van het project zijn er problemen geweest met de groei van het riet. De reden hiervan is dat het riet waarschijnlijk te weinig voedingsstoffen op heeft kunnen nemen, omdat het water dat vanuit het bassin stroomde al een lage concentratie aan nutriënten bevatte. Ook is het mogelijk dat door verliezen van het grondwater, verliezen naar de Erasmusgracht zijn opgetreden waardoor de effluenthoeveelheden verminderd zijn.

CONCLUSIES

Het percentage neerslag dat tot afstroming kwam, bleek veel lager te zijn dan was aangenomen bij ontwerp. Er was aangenomen dat 60 % van het regenwater tot afstroming zou komen; in de praktijk bleek dit maar 30 % te zijn. Hierdoor is het bassin in feite overgedimensioneerd.

Het bezinkbassin heeft een hoog zuiveringsrendement voor nutriënten, zwevend stof, zware metalen en PAK. Het filter zorgt voor een nazuivering. De vuiluitworp van het bezinkbassin is voor alle stoffen vergelijkbaar of lager dan een verbeterd gescheiden stelsel. Dat wil zeggen dat voor alle stoffen een zuiveringsrendement van meer dan 70 % is behaald.

AANBEVELINGEN

De bij het ontwerp gehanteerde afvoercoëfficiënt is gebaseerd op een hoge neerslagintensiteit en een hoge afvoer. In de praktijk is echter gebleken dat er ook rekening moet worden gehouden met een lage afvoer. Dit houdt in dat wanneer in toekomstige situaties weer gebruik zou worden gemaakt van een combinatie van een bezinkbassin in combinatie met een helofytenfilter, waarschijnlijk volstaan kan worden met een kleiner bezinkbassin, waardoor een grotere rol voor het filterdeel is weggelegd. Er zal dan namelijk een grotere hoeveelheid water dat minder is voorgezuiverd door het filter stromen. Door een grotere aanvoer van voedingsstoffen wordt het filter positief beïnvloedt en zal het zuiveringsrendement stijgen. Verder is het aan te raden, voor het systeem in werking treedt, een goed aangeslagen rietveld hebben [79].

FIGUUR 6.5

BEZINKVIJVER TE LIMMEN (NA 2 JAAR IS HIER GEEN ACCUMULATIE VAN VERONTREINGINGEN GEVONDEN)



7

BODEMPASSAGE

Een bodempassage is een voorziening waarbij de bodem zorgt voor de zuivering van het afstromende regenwater middels filtratie. Bij de bodempassage zijn verschillende bovengrondse systemen te onderscheiden: wadi's infiltratievelden, -greppels, -bermen en zandfilters.

Afhankelijk van het soort systeem wat wordt toegepast varieert de gemiddelde aanlegprijs bij nieuwbouw tussen de EUR 4,00 en EUR 7,00 per m² aangesloten oppervlak. Het rendement wat te behalen is, is afhankelijk van de dimensies van de voorziening. Deze variatie maakt het tevens ook niet mogelijk om een eenduidige kosteneffectiviteit te bepalen.

Door de ervaringen met bodempassages, en in het bijzonder met wadi's, zijn er voor het ontwerp veel richtlijnen bepaald.

Bij de aanleg kan de bodempassage vervuild raken door bouwafval of verslempd raken door bouwverkeer. Het zo laat mogelijk in het bouwproces aansluiten en inrichten van de bodempassage verdient daarom de aanbeveling.

Het beheer aan het systeem bestaat uit: maaien, eventueel afvoeren van vegetatie, doorspuiten drainage en verticuteren, vervangen van de toplaag.

7.1 DEFINITIE

Voor de beeldvorming is hier onderstaand een definitie gegeven van bodempassage:

Het afstromende regenwater wordt geïnfilteerd in een grondlaag waarbij de verontreinigingen in de bodem worden vastgelegd of omgezet. Bij de filtratie wordt gebruik gemaakt van de bodem als zuiveringsprincipe.

FIGUUR 7.1 BODEMPASSAGE [42]



7.2 WERKING

Bij bodempassages wordt voornamelijk gebruik gemaakt van filtratie als zuiveringsprincipe. Het afstromend regenwater wordt geïnfiltrerd in een grondlaag waarbij de verontreinigingen in de bodem worden vastgelegd of omgezet. Het gefiltreerde schone water wordt direct aan het grondwater toegevoegd of via een ontwateringsmiddel ingezameld en getransporteerd naar oppervlaktewater. Vaak wordt een minimale grondlaag van enkele decimeters gehanteerd die garant staat voor het niet doorslaan op korte termijn van verontreiniging naar diepere grondlagen en/of het grondwater. Door het toevoegen en/of verhogen van specifieke bestanddelen (bijvoorbeeld humusgehalte, actief kool en/of ijzeroxide) in de bodemlaag kan het filtrerend en adsorberend vermogen van de grond worden vergroot, waarmee een hoger zuiveringsrendement wordt behaald en de werkingsduur worden verlengd.

Bovendien kan een vegetatie worden aangebracht op de bodemlaag die verontreinigingen uit de bodem opneemt en een biologisch afbraakproces versnelt [49].

Dit gefiltreerde schone water wordt direct aan het grondwater toegevoegd of via een ontwateringsmiddel ingezameld en getransporteerd naar het oppervlaktewater.

WADI

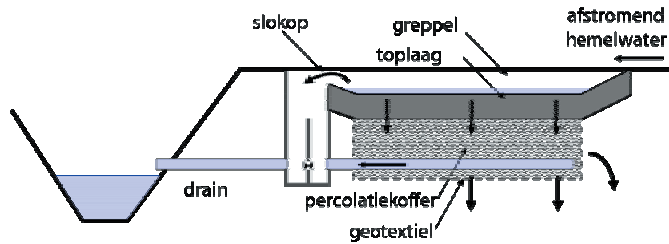
De bodempassage is vaak een onderdeel van een wadi, een infiltratievorm die veel wordt toegepast. Bij wadi's wordt bij voorkeur het regenwater bovengronds afgevoerd. Het regenwater stroomt dan vanaf de daken via goten naar de woonstraat. Daar voegt het zich bij het regenwater dat op de straat zelf valt. De woonstraten hebben dan geen kolken, maar het regenwater stroomt via de goot in het midden van de woonstraat naar de wadi. De kruisingen van straten met wadi's heten "voorden". Deze voordren liggen hoger dan de wadibodem, maar lager dan de straat. Zo kan het water gemakkelijk van de straten in de wadi stromen. In de bovenste laag van de wadi wordt grondverbetering toegepast. Er is voor gezorgd dat er een poreuze grondsoort ligt waardoor het water goed in de bodem kan zakken. In de bovenste laag zit een humusachtige grond, waardoor het gras zich beter kan ontwikkelen en de wadi beter bestand is tegen betreding. Deze laag heeft tevens een zuiverende functie aangezien het aan zwevende stof gebonden verontreinigingen afvangt. De functie kan versterkt worden door het verhogen van bijvoorbeeld het organisch materiaal (humus) in deze laag of het aanbrengen van bijvoorbeeld ijzeroxide en/of actief kool voor respectievelijk afvangen van zware metalen en Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK). Onder de grondverbetering ligt b.v. een sleuf met een aggregaat die is ingepakt in een zanddichte doek. Een aggregaat kan bestaan uit bijvoorbeeld kleikorrels, lavasteen, grind et cetera. De holle ruimten van het aggregaat kunnen het water bergen. De zanddichte doek voorkomt dat grond de wadi binnenspoelt, maar laat het water toch door.

Onder de lengterichting van de wadi loopt een drainbuis. Deze zorgt ervoor dat de delen waar de ondergrond minder goed doorlatend is, toch in verbinding staan met beter doorlatende grond.

In de winter komt het voor dat de grondwaterstanden ter hoogte van de sleuf van het aggregaat komen, de drainbuis treedt dan op als ontwateringsmiddel. Deze voert het verzamelde grondwater af naar drainputten, waarna het water weer afvoert naar het oppervlaktewater.

Ook zijn er zogenaamde "slokoppen" (overlooppunten), deze treden in werking als de wadi zich helemaal vult. Deze zorgen voor een snelle verbinding met de sleuf van het aggregaat. Het is ook mogelijk dat de drainbuis het water vanuit de slokop naar bijvoorbeeld het oppervlaktewater afvoert (zie figuur 7.2) [50]

FIGUUR 7.2 WADI [51]



7.3 SYSTEMEN

Bij de bodempassage zijn verschillende bovengrondse systemen te onderscheiden:

- Wadi
- Infiltratieveld, -greppel, -berm
- Zandfilter

De meest toegepaste bodempassage is de wadi.

7.4 CRITERIA

Om de verschillende voorzieningen met elkaar te vergelijken, zal bij elk van de voorzieningen gekeken worden naar dezelfde criteria.

7.4.1 INVESTERINGSKOSTEN EN EXPLOITATIEKOSTEN

- Voor een project in Arnhem-Noord is gekeken naar de kosten van verschillende bodempassages, in de volgende tabel zijn de kosten weergegeven⁸:

TABEL 7.1 KOSTEN ARNHEM-NOORD (PRIJSPEIL 2004)

	T-waarde	Prijs per m ² verhard oppervlak (in EUR)
Infiltratieberm	2	5,10
	10	6,84
Infiltratieveld	2	4,05
	10	5,14
Wadi	2	5,56
	5	6,42

- Voor een project in Arnhem-Zuid zijn als proef een bodempassage en een zandfilter aangelegd. De aanlegkosten hiervoor waren:

TABEL 7.2 KOSTEN ARNHEM-ZUID (PRIJSPEIL 2006/2007)

Randvoorziening	Aanlegkosten (in EUR)	Aangesloten oppervlak	Prijs per m ² verhard oppervlak (in EUR)
Zandfilter	150.000,-	40000 m ²	3,75
Bodempassage	125.000,-	56000 m ²	2,23

- Leidraad D1100

⁸ Roy, de la J-P., Schel, R. Spoelstra, J., Blok, E., Beter inzicht in infiltratiemogelijkheden van regenwater, H₂O 5-2004

AANLEG WADI

Kostenkengetal: de aanleg van een wadi kost EUR 5,- per m² aangesloten verhard oppervlak.

AANLEG BODEMPASSAGE

Deze infiltratievoorziening bestaat uit een verlaging in het maaiveld en de aanleg van een toplaag.

Kostenkengetal: de aanleg van een bodempassage kost EUR 7,- per m² aangesloten verhard oppervlak.

- In Ruwenbos is in totaal voor EUR 10.900,- aan wadi's aangelegd. Het gaat hierbij om een aangesloten oppervlak van 1945 m², dit komt neer op 5,60 EUR/m²

De prijzen komen redelijk overeen met een uitschieter bij de bodempassage in Arnhem-Zuid (EUR 2,23), de kosten van de overige voorzieningen variëren tussen de EUR 3,75 en EUR 7,00 per m² aangesloten oppervlak.

- Almelo⁹

De gemeente Almelo heeft een pilotproject afkoppelen uitgevoerd dat antwoorden moet geven over de technische en financiële haalbaarheid van afkoppelen/infiltratie in Almelo. Hiervoor zijn verschillende wadi's aangelegd in Almelo.

WADI P.C. BOUTENSTRAAT

Eind augustus 2001 zijn de werkzaamheden in de P.C. Boutensstraat gestart en juli 2002 afgerond.

TABEL WADI TUSSEN DE FLATS 193-239 EN 241-287

Soort	Afwaterend verhard oppervlak		Wadi (bij 20 mm berging)	
	Hoeveelheid (m ²)	Berging (m ³)	Diepte (m)	Oppervlak (m ²)
½ dak (achterzijde) 193-239	420	8,4	0,25	33,6
½ dak 241-287 (voorzijde)	420	8,4	0,25	33,6
Trottoir en rijweg voor 241-287	525	10,5	0,25	42,0
Parkeerplaatsen 13	164	3,3	0,25	13,1
TOTAAL	1.529	30,6		122,3

TABEL WERKELIJKE UITVOERINGSKOSTEN, KOSTEN EXCL. BTW

Onderdeel	Af te koppelen (m ²)	Kosten (€)	Kosten per m ² afgekoppeld oppervlak (€)
Wadi	1.529	3.639,00	2,38

WADI LIEVEN DE KEYSTRAAT

Het werk is gestart na de bouwvak in 2002, te weten 12 augustus. De afronding van het werk vond plaats in oktober 2002.

Op basis van de inschrijfsom is bepaald wat de kosten per m² verhard oppervlak zijn om het regenwater af te koppelen van het gemengde rioolstelsel. In de is aangegeven hoeveel verhard oppervlak er wordt afgekoppeld en waar deze verharding zich bevindt.

⁹ Wentink, R., Dijk van, E.W.M. (2004), Pilotproject afkoppelen Almelo, Fase 4: evaluatie, Gemeente Almelo en Waterschap Regge en Dinkel, Deventer

TABEL VERHARD OPPERVLAKE TOEDELING

	Wadi (m ²)
Weg en/of trottoir	390
Daken	420
Totaal	810

De kosten zijn exclusief BTW, maar inclusief eenmalige kosten, uitvoeringskosten van de aannemer, winst, risico en algemene kosten.

TABEL WERKELIJKE UITVOERINGSKOSTEN PER ONDERDEL EXCL. VERVANGEN DWA-HUISAANSLUITINGEN

Onderdeel	Af te koppelen (m ²)	Kosten (€)	Kosten per m ² afgekoppeld oppervlak (€)
Wadi	810	5.434,00	6,71

WADI SANDENBURG/TER KLEEF

De werkzaamheden zijn na een onderhandse aanbesteding uitgevoerd door KWS Overijssel en deze is gestart in mei 2003. De werkzaamheden zijn begin juli 2003 afgerond.

TABEL VERHARD OPPERVLAKE TOEDELING

	IT-riool/wadi Ter Kleef (m ²)
Weg en/of trottoir	1.519
Daken	1.364
Dak school/sportzaal	1.550
Schoolplein	1.400
Totaal	5.833

Deze kosten zijn exclusief BTW, maar inclusief eenmalige kosten, uitvoeringskosten van de aannemer, winst, risico en algemene kosten.

TABEL UITVOERINGSKOSTEN PER ONDERDEEL N.A.V. REALISATIE DOOR KWS

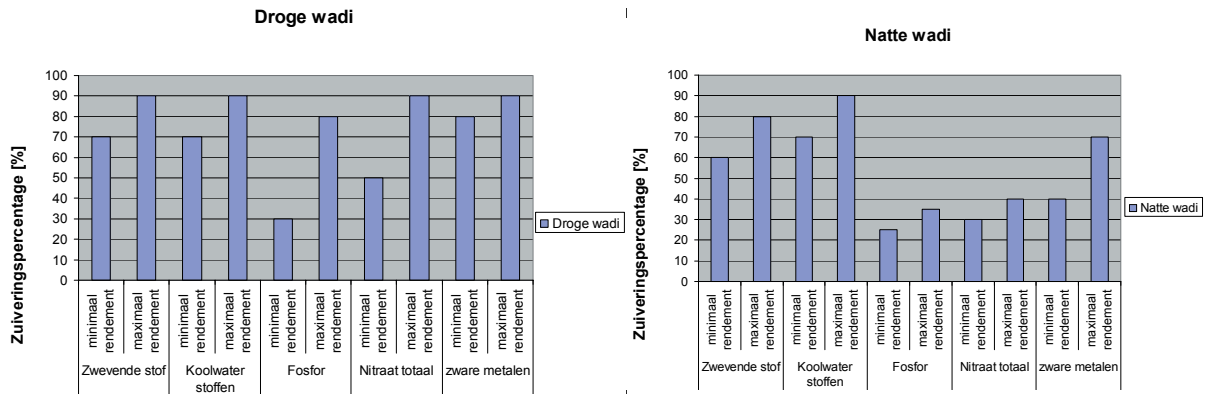
Onderdeel	Af te koppelen (m ²)	Kosten (€)	Kosten per m ² afgekoppeld oppervlak (€)
IT-riool/wadi Ter Kleef	5.833	133.800	22,94

De kosten geven een vertekend beeld door de combinatie met het IT-riool.

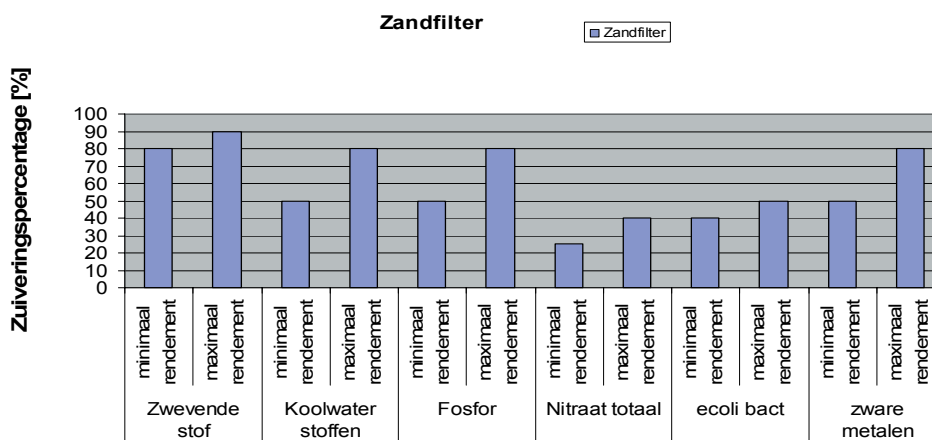
7.4.2 RENDEMENT

Bij het zuiveringsrendement is een onderscheid gemaakt tussen een droge en een natte wadi. De rendementen van wadi's zijn afhankelijk van de vormgeving en kwantitatieve en kwalitatieve belasting. Uit figuur 7.3 kan geconcludeerd worden dat bij een droge wadi een hoger rendement wordt behaald in tegenstelling tot de natte variant.

FIGUUR 7.3 ZUIVERINGSRENDEMENTEN VAN EEN DROGE WADI [47]



FIGUUR 7.4 ZUIVERINGSRENDEMENT VAN EEN ZANDFILTER [47]



7.4.3 BEHEERSASPECTEN

Het jaarlijks onderhoud bestaat bij een bodempassage bedekt met gras voornamelijk uit het maaien. In Ruwenbos was de maaifrequentie 22 keer per jaar. Bij alle bodempassages moet het vuil verzameld worden en afgevoerd, blad moet verwijderd worden en de drainage doorgespoten.

TABEL 7.3 BEHEERKOSTEN WADI IN RUWENBOS (PRIJSPEIL 2005)

	Kosten (EUR/m/jr)	Lengte (m)	Totale kosten (EUR/jr)	Kosten (EUR/m ² verhard oppvl/jr)
Groene en rode wadi	14,91	400	5.964	0,37

TABEL 7.4 BEHEERKOSTEN/KENTALLEN GEÏNDEXEERD NAAR 2003 (BRON: GRONTMIJ)¹⁰

Voorziening	Prijs per m ² verhard oppervlak (in EUR)
Wadi	0,08
Infiltratieveld	0,045
Infiltratieberm	0,045

¹⁰ Roy, de la J-P., Schel, R, Spoelstra, J., Blok, E., Beter inzicht in infiltratiemogelijkheden van regenwater, H₂O 5-2004

De kosten liggen ver uit elkaar (EUR 0,08 - EUR 0,37), dit kan te maken hebben met de activiteiten die zijn meegerekend in de kosten per m² (is dit bijvoorbeeld alleen het klein beheer, of ook kosten voor het beheer gedurende de levensduur van de wadi).

7.4.4 ROBUUSTHEID

Een bodempassage kan geen grote debieten verwerken en er zal daarom altijd een noodvoorziening gerealiseerd moeten worden. Daarnaast moet de regen binnen 24 uur geïnfiltreerd worden in de bodem, anders gaat dit ten koste van de infiltratiecapaciteit bij een volgende bui.

Grote vuilvrachten blijven liggen op de bodempassage en dienen handmatig verwijderd te worden anders gaat dit ook ten koste van de infiltratiecapaciteit.

Een bodempassage is dus robuust mits goed onderhouden en gedimensioneerd/ontworpen.

7.4.5 RUIMTEBESLAG/INPASBAARHEID

Voor een bodempassage dient er voldoende ruimte te zijn en is daarom een minder geschikte oplossing bij een zeer dichtbebouwde omgeving. Mits er voldoende ruimte is, is een bodempassage wel goed in te passen in het straatbeeld. Bodempassages zorgen voor groen in de wijk.

7.4.6 OVERLAST

Bij een enquête gehouden in 2005 onder de bewoners van Ruwenbos is de vraag gesteld of de bewoners last hadden van de wadi. Van de bewoners geeft 89 % aan geen last van de wadi's te hebben. De overige 11 % ondervindt hinder van de wadi door¹¹:

- Regen (6 %), vorst (6 %), ongedierte (6 %), stank (12 %), langdurig water (12 %)
- Anders (59 %), zoals:
 - Er ligt veel afval in
 - Het is vervelend om met de fiets (kinderen), buggy of wandelwagen over de keien bij de doorsteek door de wadi te gaan
 - De wadi fungeert als hondenuitlaatplaats, waardoor hondenpoep in de wadi ligt
 - Bewoners en bezoekers parkeren regelmatig hun auto in de wadi

De overlast kan ook gelden voor de andere vormen van bodempassage. Uitzonderingsgevallen daargelaten zal een bodempassage echter voor weinig overlast zorgen. Het zal vooral gaan om incidentele gevallen.

¹¹ RIONED, Wadi's: aanbevelingen voor ontwerp, aanleg en beheer, Ede

7.5 RICHTLIJNEN

7.5.1 ONTWERP

Dimensionering van een wadi [50]:

- Overstortingsfrequentie infiltratiesysteem: 1 keer per 2-5 jaar
- Maximale waterstand in de wadi: 30 cm; te realiseren door slokopconstructie
- Oppervlakte wadi ten opzichte van het afvoerend oppervlak : 5-10 %
- Ledigingstijd: binnen 24 uur
- Dikte toplaag van wadi 0,30 – 0,5 meter (filterlaag voor afvangen van verontreinigingen)
- Veelal wordt voor de toplaag een mengsel aangehouden bestaande uit twee delen ruw zand en één deel teelaarde (afhankelijk van functie; doorlatendheid, wens en gewas en zuiveringsrendement toplaag)
- Afmetingen; bodembreedte circa 0,5-1 m, gehele breedte circa 4 m
- Minimaal 10 cm wading boven overloopniveau
- Oppervlakte wadi t.o.v. afvoerend oppervlak: 5-10 %
- Afstand bodem wadi tot GHG (gemiddelde hoogste grondwaterstand) \geq 50 cm
- Talud van 1:3 of flauwer (i.g.v. machinaal maaien en veiligheid)
- Eventueel geotextiel dient bij voorkeur een O90-waarde groter dan 300 μ m te hebben
- Doorlatendheidswaarde toplaag: 0,5-1,5 m/dag
- Goede communicatie met de betrokken partijen in ontwerp- en beheerfase is van groot belang. Daarbij moet gedacht worden aan waterkwaliteits- en waterkwantiteitsbeheerders, alsmede groen- en rioolbeheerders, bewoners, makelaars, aannemers en installatiebedrijven. Steeds meer aannemers krijgen ervaring met infiltratievoorzieningen, maar toch gaan nog vaak dingen verkeerd omdat inzicht in het systeem ontbreekt. Het bovengronds inzamelen en afvoeren van regenwater eist ruimtegebruik waarmee in een vroeg stadium (bij het stedenbouwkundig ontwerp) rekening moet worden gehouden
- Een overstort/overloopmogelijkheid dient altijd te worden aangebracht zodat het water bij het overschrijden van de bergingscapaciteit bijvoorbeeld naar het oppervlaktewater kan worden afgevoerd zonder dat wateroverlast optreedt. Bouw extra zekerheden in door bijvoorbeeld een overloop naar een ander wadicompartiment
- Een gevarieerde vegetatie kan de doorlatendheid bevorderen door betere doorworteling van de bodem. Bovendien kan de belevingswaarde voor de mens toenemen
- Bij het ontwerp is een goede bestudering van de geohydrologische omstandigheden nodig. Ondoorlatende lagen kunnen infiltratie belemmeren. De doorlatendheid is niet alleen afhankelijk van de bodem maar ook van de methode waarmee deze is bepaald (verzadigd, onverzadigd). Bij onzekerheden hierover dient met extra veiligheidsfactoren te worden gerekend. De bodem van de infiltratievoorziening wordt bij bovengrondse voorzieningen in tegenstelling tot ondergrondse voorzieningen volledig meegenomen in de dimensionering [50]
- Leg de ontwerp- en aanleggegevens van de voorziening goed vast.
Omdat het ontwerp van bodempassages tot op heden niet gestandaardiseerd is, en het ontwerp bovendien afhankelijk is van de locatie, moeten beheerders ontwerpgegevens, de revisie van de aanleg, eventuele nulmetingen, opleveringsinspecties en uitgevoerd onderhoud goed vastleggen. Alleen op basis van die gegevens kunt u het functioneren van een voorziening beoordelen
- Wees alert bij toepassing van infiltratiesystemen op locaties met veel bomen.
Bladeren kunnen leiden tot verstopping in alle soorten infiltratievoorzieningen(eikenblad vergaat bijvoorbeeld langzaam, bij ophoping van blad onder de schaduw van de boom kan de doorlatendheid afnemen). Bovendien kunnen bepaalde bladeren voor een

verhoogde zuurgraad van de grond zorgen, waardoor vastgelegde zware metalen mobiel kunnen worden en zich kunnen gaan verplaatsen. Verder kan in theorie wortelgroei bij infiltratievoorzieningen tot verstoppingen leiden. In de praktijk blijkt dat ingroei van wortels niet of slechts beperkt voorkomt, omdat infiltratievoorzieningen een groot deel van de tijd droog staan. Overweeg lokaal welke minimumafstand tot bomen wordt aangehouden en of wortelschermen nodig zijn

- Waarborg afstroming op locaties met veel bladval en zwerfvuil
Bladeren en zwerfvuil kunnen leiden tot verstopping van afvoergoten. Afstroming wordt gewaarborgd door voldoende afstand te houden tussen afvoergoten en beplanting en bomen, danwel door regelmatige reiniging van de goten
- Stem het ontwerp af op het beheer.
Een bodempassage moet bij voorkeur zo ontworpen worden dat de voorziening goed kan worden onderhouden. Stem uw ontwerp af op het aanwezige materieel en op het gebruikelijke beheerregime
- Kies het juiste geotextiel.
Stem een geotextiel af op de omliggende grondslag. Overweeg of een meerlaags filterdoek nodig is. Vooral de korrelverdeling van de grondslag is van belang. Een 'standaard' geotextiel kan door dichtslibbing op termijn tot problemen leiden. Eenmaal dichtgeslibd, kan het textiel zonder ingrijpende maatregelen niet of nauwelijks meer goed doorlatend worden
- Dimensioneer de bovengrondse voorziening voldoende ruim.
In een krap gedimensioneerde voorziening zal langer water staan. Hierdoor is het risico op een kwaliteitsvermindering van de toplaag (vorming kale plekken) groter dan bij een ruim gedimensioneerde voorziening
- Zorg voor een goede toegankelijkheid van de slokop (wadi).
De overloopput in de toplaag van een oppervlakte-infiltratievoorziening (slokop) moet goed bereikbaar zijn voor een reinigingswagen
- Maak de goten niet te steil en te diep.
Een diepe goot is moeilijker te reinigen door een veeg-zuigwagen. Daarnaast geeft de goot meer hinder voor voetgangers en rijverkeer
- Bepaal een goede locatie voor de goot in de rijweg.
De gemeente kan een goot in het midden van de rijweg of aan de zijkant(en) van de rijbaan aanbrengen. In beide gevallen heeft dit verschillende consequenties voor onder meer fietsers, overstekende voetgangers en afslaand verkeer [36]

7.5.2 AANLEG

- Bij de aanleg kan de wadi vervuild raken door bouwafval of verslemp raken door bouwverkeer. Het zo laat mogelijk aansluiten en inrichten van de wadi verdient aanbeveling. Voorlopige voorzieningen kunnen worden aangelegd om wateroverlast tijdens bouw te voorkomen. Ook kan in het begin een deel worden aangesloten (met overloop) zodat mogelijke schade slechts in één compartiment plaatsvindt
- Bij de aanleg dient rekening gehouden worden met plaatsen om auto's te wassen en honden uit te laten. Deze voorzieningen mogen niet aangesloten worden op de bodempassage. Strooi beleid aanpassen, ecologisch verantwoord groenbeheer (geldt ook voor gerioleerde wijken)
- Sluit zoveel mogelijk aan bij de uitgangspunten voor duurzaam bouwen, door bijvoorbeeld het weren van uitlogende materialen in de wijk
- Betreding van de wadi kan de infiltratiecapaciteit negatief beïnvloeden. Betreding kan geleid worden door het creëren van (onverharde) wandelpaden. Een hogere begroeiing nodigt minder uit tot betreding (voetballen en fietsen) [50]

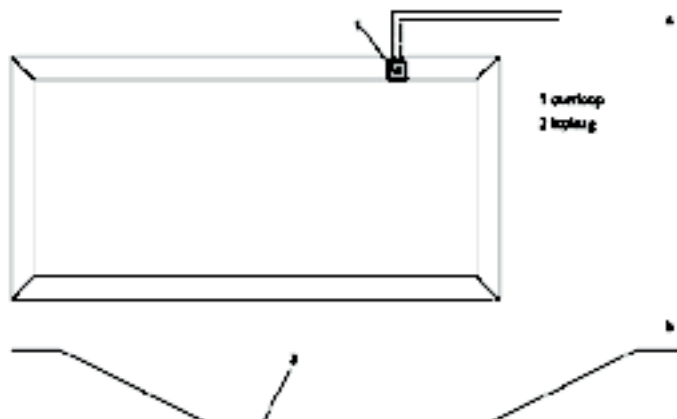
- Zorg voor een vlakke onderzijde van het ontgraven cunet. Verwijder stenen en andere scherpe objecten om beschadiging van het geotextiel en andere materialen en daarmee van grondinspoeling, te voorkomen. Graaf de sleuf dieper uit dan de ontwerpdiepte en breng op de bodem een laag (drain)zand aan. Zeker bij gronden met een lage k-waarde ontstaat zo enige extra berging en een geleidelijke overgang naar de ongeroerde grond [36].

7.5.3 BEHEER

- Afgekoppelde verharde oppervlakken dienen goed onderhouden te worden. De frequentie van inspectie of onderhoud aan kolken (met sediment/zandvang) verhogen. Het onderhoud aan het systeem bestaat verder uit: vegetatie (maaïen, eventueel afvoeren), drain (doorspuiten) en toplaag (verticuleren, vervangen)
- Bladeren en straatvuil met enige regelmaat verwijderen aangezien deze de doorlatendheid negatief kunnen beïnvloeden
- Monitoren van bodempassages geeft inzicht in het functioneren waarop onderhoud en beheer van de voorziening kan worden aangepast. Door monitoring van het systeem kunnen aspecten worden gemeten als: de doorlatendheid, waterstanden en oplading toplaag (frequentie 5 tot 10 jaar of na incidenten zoals brand). Verificatie of bepaling van de nul-situatie op mogelijke (historische) verontreiniging is aan te bevelen
- Ook kunnen functies aan de wadi worden toegekend waar het onderhoud en beheer op wordt aangepast. Zo kan het om een (speel)gazon gaan waar een hoge maaifrequentie bij hoort (circa twintig maal per jaar) of een ecologische verbindingzone met een plantsoort die minder onderhoud vergt (drie maal per jaar maaïen). Bij extensief onderhoud dient vaak het maaisel te worden afgevoerd vanwege de hoge organische belasting waardoor dichtslibbing kan optreden. Bovendien kan het gewas verontreinigingen opnemen (zware metalen en PAK) zoals het geval kan zijn bij bermen van snelwegen waar soms het maaisel als chemisch afval wordt verwerkt
- De vervangingstermijn ligt naar de huidige inzichten in de orde van tientallen jaren. Onderzoeken naar de bodemkwaliteit onder infiltratievoorzieningen die langdurig functioneren, wijzen uit dat verontreinigingen tot circa 0,5 m onder de voorziening worden vastgelegd zonder dat doorslag optreedt naar het grondwater. De mate en tijd waarin de verontreinigingen tot onacceptabele concentraties komen, is afhankelijk van de bodemsamenstelling, de kwaliteit van het afstromende regenwater en het afvoerende oppervlak [50]
- In tabel 7.4 en 7.5 [48] staat een overzicht van de onderzoeksactiviteiten en beheermaatregelen voor een infiltratieveld en wadi. De tabel bevat een onderscheid in vijf categorieën maatregelen, op grond van de wijze van aansturing.

FIGUUR 7.5

BOVENAANZICHT (A) EN DWARSDOORSNEDE (B) INFILTRATIEVELD [48]



- **Maaifrequentie en -intensiteit**
De maaifrequentie en -intensiteit hangt af van het gebruik én van de groeisnelheid van het gras. De volgende factoren kunnen de groeisnelheid van het gras beïnvloeden:
 - De grassoort(en)
 - De toplaag van het bodemprofiel (al dan niet kleihoudend, zandfractie)
 - De organische stof in de toplaag
 - Het bemestingsregime
 - Het gebruik
- **Maaisel verwijderen**
Hoe lager de gebruiksintensiteit van de voorziening en hoe schraler het beheer, des te wenselijker is het om het maaisel te verwijderen. In armere toplagen is namelijk minder bodemleven actief, zodat het bodemleven grasresten minder of niet zal afbreken. Hierdoor ontstaat een viltige graszode: een zode met een glad laagje van niet-verteerde maaiselresten met lage water- en luchtinfiltratiecapaciteit. Om dit te voorkomen, moet het maaisel worden opgevangen of opgeveegd en afgevoerd
- **Zwerfvuil verwijderen**
Zwerfvuil in de bodempassage kan de doorlatendheid verminderen, maar het is vooral onesthetisch. Een vuile wadi nodigt uit om nog meer afval te dumpen. Daarom moet de wadi vrij van zwerfafval worden gehouden. De frequentie van schoonmaken moet afgestemd worden op de snelheid waarmee de wadi vervuult
- **Bladblazen**
Een laag bladeren op de bodem van de toplaag heeft een nadelig effect op de infiltratiecapaciteit. Daarom moet er minimaal twee keer in het najaar bladeren worden verwijderd door te harken en/of te blazen. Het tijdstip wordt afgestemd op de periode dat de bomen hun bladeren laten vallen
- **Verdichting opheffen**
Bij een wat oudere graszode kunnen verdichtingen een slechte grasgroei of wateroverlast veroorzaken. Om dit op te heffen kunt u de volgende machines gebruiken:
 - De zware prikrol
Dit is een machine met zware driekante messen die tot 0,10 à 0,15 m. in de grond kunnen dringen
 - De vertidrain
Een machine met holle of massieve pennen die wrikkende bewegingen maken. De machine perforereert de bovengrond met gaten en maakt de grond los, zodat de verdichting verdwijnt. De effectieve bewerkingsdiepte is tot 0,30 à 0,40 m
 - De diepbeluchtingsschudfrees
Deze machine brengt ronddraaiende messen in de grond en wrikt zo de grondkolom die tussen de messen ligt (ongeveer 0,20 m) los. De messen maken sleuven in de grond tot een diepte van 0,40 à 0,50 m. U zet deze machine vooral in bij hardnekkige problemen met wateroverlast die veroorzaakt wordt door diepere verdichte lagen
- **Optimaliseren toplaag**
Om de toplaag beter te laten functioneren dient deze periodiek bemest te worden en kan de grond bekalkt worden
- **Drain doorsteken**
Met deze methode kunt u de drain controleren op verstoppingen en verstoppingen ook verhelpen. Bij het doorsteken brengt u een glasfiber staaf met doorsteekkop (eventueel met een opsporingszender) met geringe kracht in de drain. Deze methode heeft geen negatieve invloed op de structuur van de drainkoffer en de omliggende grond, in tegenstelling tot de methode doorspuiten

- Drain doorspuiten
Door een drain door te spuiten, maakt u de instroomgaatjes weer open die door uitgevlokt ijzer of slibdeeltjes verstopt waren. Doorspuiten kan ook nadelige gevolgen hebben, vooral in zandige bodems. Daar zuigt de methode namelijk zanddeeltjes mee en verstoort het de bodemstructuur rond de drains.
- Egaliseren
Egaliseren is bij toplagen van oppervlakte-infiltratievoorzieningen nodig als in verlagingsplassen blijven staan. Na het egaliseren moet u de grasmat (plaatselijk) opnieuw inzaaien
- Toplaag vervangen
De levensduur van een grasstrook hangt af van het gebruik, de bodemopbouw en de mate van beheer en onderhoud. Bij recreatief gebruik (zoals bij een trap- en ligveldje) en regelmatig (passend) onderhoud gaat een top laag ongeveer twintig jaar mee [48]

7.6 VOOR- EN NADELEN

VOORDELEN

- Zichtbaar voor bewoners
- Geringe kans op en beter zichtbaar maken van foutieve aansluitingen
- De bereikbaarheid van het systeem voor onderhoud en beheer
- Zuiverende werking bodempassage
- Multifunctioneel in te richten; afvoerende, drainerende, zuiverende en ecologische functie (ecolinten/faunapassages)
- Verhoging van belevingswaarde door flora en fauna in het stedelijk gebied

NADELEN

- Bovengronds ruimtegebruik (in te vullen als groenvoorziening)
- Vanwege ruimteclaim is deze methode in bestaande bouw vaak moeilijk in te passen (ruimte, verhang en afvoergoten naar bodempassage)
- Kans op ingroei van wortels bij het plaatsen van bomen dichtbij de drain van het wadisysteem, is aanwezig

7.7 ERVARINGEN

Normale oppervlakte-infiltratie wordt al lang toegepast in Nederland. Bermen langs snelwegen en provinciale wegen worden bijvoorbeeld zodanig aangelegd dat er water geborgen en geïnfiltrateerd kan worden. Wadi's zijn minder lang in gebruik in Nederland. Ze zijn voor het eerst in 1996 in de Enschedese wijk Ruwenbos toegepast. Het wadi systeem is direct afgeleid van het Mulden Rigolen Systeem uit Duitsland. Sinds de toepassing in Enschede heeft het gebruik van de wadi een grote vlucht genomen.

In sommige delen van Nederland is oppervlakte-infiltratie minder geschikt. In de provincie Zeeland wordt oppervlakte-infiltratie afgeraden omdat de bodem daar veelal uit klei bestaat waardoor infiltratie wordt bemoeilijkt, Tholen is hier echter een uitzondering op de regel.

7.7.1 ENSCHEDE (RUWENBOS)

Van de geselecteerde zuiverende voorzieningen zijn wadi's wellicht het best gedocumenteerd qua praktijkervaringen in Nederland. In Enschede heeft gedurende zes jaar (1999-2005) monitoring plaatsgevonden van de wadi's in de wijk Ruwenbos. De ervaringen hiermee zijn uitgebreid vastgelegd in RIONED (2006), Boogaard, F., Bruins, G. en Wentink, R., Wadi's: aanbevelingen voor ontwerp, aanleg en beheer, Ede(RIONED).

Het rapport besteedt aandacht aan onder meer de volgende punten:

- Ontwikkeling van de wadi in Ruwenbos
- Achtergrondinformatie over het wadisysteem zelf
- Ontwerp
- Rondleiding door Ruwenbos (door middel van foto's)
- Beheer en onderhoud
- Monitoring (kwantitatief en kwalitatief)
- Bewonersonderzoek
- Kosten van aanleg en onderhoud

Deze rapportage besteedt aandacht aan alle aspecten die komen kijken bij de aanleg en het onderhouden van een wadi. Vanwege de uitgebreidheid en de duur van de monitoring kan deze rapportage dienen als voorbeeld voor monitoringsprojecten van andere zuiverende voorzieningen zoals behandeld in dit literatuuronderzoek.

Het zou te ver voeren om van alle bovenstaande onderdelen van de rapportage de kernpunten weer te geven, daarom zijn er enkele uitgelicht:

Kwaliteit: er heeft kwalitatieve monitoring plaatsgevonden waarbij vooral aandacht is besteed aan de verspreiding van verontreinigingen in de bodem. Er is gemonitord op verschillende parameters zoals zware metalen en PAK. De vervuiling wordt vooral afgevangen in de toplaag doordat deze zich bindt aan zwevende stof. Streefwaarden worden in deze laag tot op heden niet overschreden. Voor een beter beeld is echter langdurigere monitoring gewenst.

Kosten: de aanleg van een wadi is per vierkante meter verhard oppervlak goedkoper dan een regenwaterriool. Maar het onderhoud aan een wadisysteem is duurder dan aan de riolering.

Bewoners tevredenheid: de meeste bewoners in Ruwenbos zijn tevreden met het wadisysteem, ze vinden het over het algemeen een bijdrage aan een mooier wijkbeeld. Wel zijn er een aantal klachten met betrekking tot ontwerpdetails, beheer en handhaving. Deze klachten spelen echter (grotendeels) ook in een reguliere wijk.

Tenslotte geeft het rapport ook voorbeelden van de toepassing van wadi's op andere plaatsen in Nederland, deze voorbeelden zijn rijk geïllustreerd en kunnen ter inspiratie dienen [88].

7.7.2 ARNHEM-ZUID (BURGEMEESTER MATSERSINGEL)

De bodempassage wordt gevoed door een pomp met een capaciteit van 25 m³/u. De bodempassage is gedimensioneerd op een capaciteit van 0,3 mm/h t.o.v. het aangesloten verharde oppervlak (5,60 ha). Dit komt neer op 19 m³/u. De bodempassage heeft een oppervlak van ongeveer 300 m². Hier infiltreert het water in de bodem. Op ongeveer 0,6 m diepte liggen drainbuizen die het effluent verzamelen en afvoeren naar de singel. Op vier plaatsen passeert het effluent een monsternameput, waaruit handmatig kan worden bemonsterd (figuur 7.7).

De pompcapaciteit is groter dan de infiltratiecapaciteit, zodat de bodempassage bij voortdurend pompen steeds voller raakt. Indien meer dan 30 cm water op de bodempassage komt te staan, stroomt het water over een noodoverlaat¹².

FIGUUR 7.7

LOCATIE PROEFINSTALLATIE BODEMPASSAGE, ARNHEM-ZUID



KWALITEIT BODEMPASSAGE

De kwaliteit van de bodempassage is hier en daar verslechterd. Bij de instroomzijde zijn betonblokken neergelegd om uitspoeling te voorkomen, maar doordat deze blokken niet optimaal geplaatst zijn, is toch een gedeelte van de toplaag uitgespoeld. Verder heeft de bodempassage te lijden gehad van een mol, bladval en hondenpoep (slecht voor de waterkwaliteit). Bij extreem verontreinigd influent raakt de toplaag van de bodempassage verontreinigd met slib.

BAGGERWERKZAAMHEDEN

Op 30 november 2006 bleek dat de bodempassage vervuild was en dat water in de passage nauwelijks wegzakte. De oorzaak was het baggeren van de singel, waardoor een grote waterverplaatsing in de sloot en het riool werd veroorzaakt. Het kleiachtige slib dat door het water werd meegevoerd, heeft zich afgezet in het riool, waardoor dit vervuild raakte. De waterverplaatsing zorgde er tevens voor dat de pomp aansloeg. Het slib werd daardoor ook de bodempassage ingepompt.

INTERPRETATIE VAN DE ANALYSERESULTATEN

De verwijderingsrendementen van de bodempassage zijn wisselend, maar de meeste zijn positief. De effluentwaarden van enkele parameters zijn hoger dan de influentwaarden:

- De effluentconcentratie van chloride is gemiddeld 45 % hoger dan de influentconcentratie. Alle verwijderingsrendementen voor chloride zijn negatief. Dit kan zijn veroorzaakt door uitloging van chloride in de bodem.
- De effluentconcentratie van onopgeloste stoffen is gemiddeld 73 % hoger dan de influentconcentratie. De effluentconcentraties zijn vaak zeer hoog: 500 mg/l. Waarschijnlijk is de methode van monstername hier de oorzaak van. Het effluent wordt namelijk uit putjes geschept, waarbij slib dat op de bodem opgehoopt ligt, wordt opgewoeld en meegenomen in het monster.

In onderstaande tabel zijn de monitoringsresultaten van oktober 2006 tot mei 2007 opgenomen.

¹² Gemeente Arnhem en Royal Haskoning (2007), Randvoorzieningen hemelwater Arnhem, Jaarrapport, Arnhem

TABEL 7.6 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN BODEMPASSAGE

Parameter	Aantal monsters	Verwijderingsrendement in %
CZV	23	42
Kjeldahl-N	22	55
Fosfor (P)	20	57
Droge stof OB	16	69
Koper	22	68
Lood	22	40
Zink (Zn)	22	79
Coli Totaal	11	81

Het rendement van de randvoorzieningen zou kunnen worden vergroot indien de hydraulische capaciteit wordt vergroot. Ook kan het inslagdebiet worden aangepast. Een lager inslagdebiet zorgt ervoor dat ook tijdens kleinere debieten wordt gefilterd.

7.7.3 ARNHEM-ZUID (BRABANTWEG)

In de ondergrondse ruimte staan twee parallel opgestelde zandfilters. De zandfilters staan parallel geschakeld met een regenwaterriool (diameter 700 mm). Het aangesloten verharde oppervlak op dit riool is 4,00 ha. In het regenwaterriool is een debietmeter geplaatst. Deze debietmeter is ingesteld op een bereik van 0 tot 200 m³/uur¹³.

ANALYSERESULTATEN

In tabel 7.7 staan de analyseresultaten die gedurende de periode oktober 2006 en mei 2007 zijn verkregen.

TABEL 7.7 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN ZANDFILTER

Parameter	Aantal monsters	Verwijderingsrendement in %
CZV	17	50
Kjeldahl-N	14	61
Fosfor (P)	11	76
Droge stof OB	17	71
Koper	14	33
Lood	14	66
Zink (Zn)	14	68
Coli Totaal	8	69

De aangelegde randvoorzieningen hebben slechts beperkte invloed op de waterkwaliteit van het afvoerende regenwater. Wat betreft het zandfilter en de bodempassage wordt het lage rendement veroorzaakt doordat slechts een klein gedeelte van het totale buivolume kan worden gereinigd. Om significante verwijderingsrendementen te kunnen realiseren moet de schaalgrootte van de randvoorzieningen daarop worden aangepast [111].

7.7.4 'S HERTOGENBOSCH (DE VLIERT)

In 2002 heeft monitoring plaatsgevonden van de bodem onder enkele randvoorzieningen voor de infiltratie van regenwater in de nieuwbouwwijk de Vliert [91]. Het onderzoek is uitgevoerd door Royal Haskoning. Het onderzoek betrof het vastleggen van de nulsituatie.

Er is onderzoek gedaan naar een wadi en een infiltratieriool met daaronder een bodempassage. Bij het onderzoek zijn zowel grond-, grondwater-, hemelwater- en slibmonsters

¹³ Gemeente Arnhem en Royal Haskoning (2007), Randvoorzieningen hemelwater Arnhem, Jaarrapport, Arnhem

genomen en geanalyseerd. Conclusie van het onderzoek is dat er bij de wadi de streefwaarde voor enkele zware metalen wordt overschreden alsmede extraheerbare organochoorverbindingen en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK). In het grondwater wordt de streefwaarde voor zink en xylenen overschreden. In de aanbevelingen van de rapportage wordt gerept van voortzetting van de monitoring. Dit is tot op heden niet gebeurd, het is wel de bedoeling om dit de komende jaren te starten, aldus de gemeente 's Hertogenbosch.

7.7.5 UTRECHT (LEIDSCHER RIJN)

Ook in andere plaatsen in Nederland wordt aandacht geschonken aan wadi's, zij het niet zo uitgebreid als in Enschede. In de Utrechtse nieuwbouwwijk Leidsche Rijn is in het project 'Leren van beheren' ook aandacht besteed aan wadi's. Middels foto's kan duidelijk worden gezien waar de knelpunten liggen en waar men in de toekomst dus alert op moet zijn.

FIGUUR 7.8

EEN (TE) KLEINE WADI IN LEIDSCHER RIJN



Sinds 1996 worden in de grootschalige nieuwbouwwijk Leidsche Rijn in Utrecht wadi's toegepast als zuiverende voorziening voor de behandeling van afstromend regenwater. Op het eerste gezicht lijken het normale grasvelden tussen de straten in, maar als beter wordt gekeken dan is te zien dat ze verdiept zijn aangelegd en dat er slokops aanwezig zijn. De reden waarom gekozen is voor een wadi, is dat er in de nieuwbouwplannen rekening kon worden gehouden met het ruimtegebruik. De wadi's zijn ingepast als groenvoorzieningen in de wijk en nemen daardoor nauwelijks extra ruimte in beslag. Ze zijn bedoeld voor de behandeling van afstromend wegwater (zie figuur 7.8).

Wel zijn er enkele knelpunten: onder sommige wadi's zijn infiltratiekratten aanwezig. Deze zijn lastig schoon te maken. Er is voor gekozen om in de toekomst geen infiltratiekratten meer toe te passen. Ook wordt de toplaag soms dichtgereden, dit komt door auto's die soms in de wadi's worden geparkeerd [92].

Als overloopvoorziening lozen de wadi's op het oppervlaktewater. Dit betekent dat wadi's moeten voldoen aan de lozingseisen van de waterkwaliteitsbeheerder, in dit geval hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (HDSR).

7.7.6 THOLEN (SCHERPENISSE)

In kern Scherpenisse, die deel uitmaakt van de gemeente Tholen, was sprake (1999) van overlast ten gevolge van vocht en water in kruipruimten. Daarnaast is er regenwateroverlast. Tijdens natte perioden bleef regenwater snel staan op onverhard gebied. De gemeente Tholen wilde de genoemde overlast aanpakken en tevens een deel van het verhard oppervlak van het gemengde rioolstelsel afkoppelen.

FIGUUR 7.9

WADI IN SCHERPENISSE



Om de overlast tegen te gaan is er een systeem van filterbermen ontworpen. De filterbermen zien er uit als ondiepe met gras begroeide greppels c.q. laagtes in bestaande groenvoorzieningen. Ter plaatse van de greppels is aan grondverbetering gedaan. Dat wil zeggen dat de bestaande deklaag van klei ter plaatse van de greppel deels is verwijderd en vervangen door zand. Het hemelwater dat van afgekoppelde oppervlakken naar de greppels wordt afgevoerd, kan ter plaatse van de greppels infiltreren in het aangebrachte zandpakket. Gezien de zeer geringe doorlatendheden van de deklaag en de grondwaterstanden is er geen sprake van een infiltratiesysteem (wadisysteem). Om te voorkomen dat de grondwaterstanden in het aangebrachte zandpakket teveel stijgen is een drain aangebracht. Deze drain voert het surplus aan water af naar oppervlaktewater.

Omdat het systeem van filterbermen niet groot genoeg is om extreme neerslagsituaties volledig te kunnen bergen, zijn zogenaamde slokops opgenomen. Deze slokops (straatkolken) verbinden de greppels met de drains. Het deel van het regenwater dat tijdelijk niet kan worden geborgen in de greppel wordt via de drains afgevoerd naar oppervlaktewater.

Het systeem van filterbermen is doorgerekend met de standaard neerslagreeks "De Bilt, 1955-1979" en het standaardinloopmodel. Uit de berekeningen volgt dat gemiddeld per jaar ongeveer 98 % van het hemelwater dat naar de filterbermen wordt afgevoerd via de grondverbetering naar de drains percoleert en vervolgens naar oppervlaktewater wordt afgevoerd. Ongeveer 2 % van het hemelwater stroomt via de slokops naar de drains en vervolgens naar oppervlaktewater. Dit is aanzienlijk minder dan bij een verbeterd gescheiden stelsel (4 mm berging en 0,3 mm/h poc) waar ongeveer 20-25 % van het hemelwater via overstorten naar oppervlaktewater wordt afgevoerd.

FUNCTIONEREN

Medio 2001 is gestart met de realisatie van het ontwerp, hetgeen heeft geresulteerd in het aanleggen van de wadi's, de bouwblokdrainage en het afkoppelen van de daken. Het afkoppelen van de wegen zal in een later stadium plaatsvinden, namelijk op het moment dat de wegen in aanmerking komen voor herbestrating, waarschijnlijk in de tweede helft van 2002. Hoewel de voorzieningen nog maar recent zijn gerealiseerd, zijn de ervaringen positief. De bewoners geven aan dat de grondwateroverlast goed is aangepakt.

7.7.7 ALMELO¹⁴

De gemeente Almelo en het Waterschap Regge en Dinkel hebben een pilotproject afkoppelen uitgevoerd dat antwoorden moet geven over de technische en financiële haalbaarheid van afkoppelen/infiltratie in Almelo. Het pilotproject omvat vier afkoppelvoorzieningen die zijn ontworpen en uitgevoerd. De vraag is hoe deze afkoppelvoorzieningen voor afstromend regenwater functioneren in hydraulisch opzicht en in de ogen van de bewoners. Om hierop een antwoord te krijgen is er een monitoringsprogramma opgezet. Aan het einde van het eerste meetjaar is er informatie naar voren gekomen over de hydraulische werking van de voorzieningen. Aan de hand van deze informatie zijn er aanpassingen gedaan aan de wadi's.

FIGUUR 7.10 WADI TER KLEEF, ALMELO NA HET TOEPASSEN VAN DE VERBETERINGEN



WADI TER KLEEF

De wadi's in Ter Kleef staan gemiddeld 89 % van de tijd droog en slechts 7% van de tijd stort er water over. De infiltratiecapaciteit varieert van 0,15-0,49 m/dag. De berging in de wadi's is meestal binnen 12-24 uur weer volledig beschikbaar. De conclusie die uiteindelijk getrokken kan worden is dat de wadi ruimschoots voldoet. In de praktijk blijken, tot op heden, de ontwerpnormen met betrekking tot berging en lediging ruimschoots gehaald te worden.

In de wadi tegenover Muiderslot met huisnummers 57 tot en met 83 heeft in een droge periode in juli 2004 een lange tijd water gestaan. De oorzaak van de lange verblijftijd van het water heeft waarschijnlijk te maken met een andere bodemopbouw dan onder de andere wadi's.

Het valt te overwegen om op één of meerdere plaatsen in deze wadi een zandkolom aan te brengen om het water sneller in de bodem te laten infiltreren.

Uitgevoerde aanpassing (1 juli 2005):

In juli 2005 is er een verbetering aan de wadibodem uitgevoerd. De topklaag is verwijderd en vervangen door goed doorlatend zand en opnieuw ingezaaid.

Voor de overige wadi's in Ter Kleef en Sandenburg zijn tevens alle slokops (trottoirkolken) vervangen door straatkolken. Deze platliggende slokops zijn in verband met het onderhoud beter beheerbaar (maaien). Om meer berging te creëren is het instroomniveau van de nieuwe slokops ook gewijzigd. Het niveau is +/- 16 cm hoger komen te liggen ten opzichte van de ontwerphoogte.

¹⁴ Wentink, R., Dimmendaal, S (2007), Monitoring pilotprojecten Almelo tweede meetperiode, Gemeente Almelo en Waterschap Reggen en Dinkel, Deventer

MEETRESULTATEN

De resultaten van het eerste meetjaar laten zien dat de waterstand een aantal keren per jaar boven het overstortniveau van de slokop's komt.

In de resultaten voor het tweede meetjaar van de wadi in Ter Kleef is te zien dat de waterstand minder vaak boven het overstortniveau van de slokop's komt. De reden hiervoor is de aanpassingen aan het slokopniveau. Door de verandering van de kolken is het niveau een aantal centimeter hoger komen te liggen. Hierdoor is meer berging in de wadi's beschikbaar en stort er dus minder over via de slokop's.

De wadi waar de toplaag verwijderd en opnieuw aangelegd is werkt naar behoren en volgens de bewoners is het probleem van langere periodes water in de wadi niet meer voorgekomen.

CONCLUSIE

Uit de meetresultaten is te concluderen dat het wadisysteem voldoet aan het ontwerp en de aanpassingen:

- Minder overstort en meer infiltratie
- Ledigingstijd niet toegenomen, de wadi's zijn binnen 24 uur leeg
- Van één wadibodem is de doorlatendheid hersteld tot de vereiste waarde
- Water in de slokop's; de oorzaak zal een dichtgeslibde drain zijn. De drain zal onderhouden moeten worden door middel van doorspuiten.

FIGUUR 7.11

BODEMPASSAGE



8

DOORLATENDE VERHARDING

Doorlatende verharding is een samenspel van wegdek en fundering dat waterdoorlatend is en een zuiverende en bergende functie kan hebben. De systemen zijn verdeeld afhankelijk van de manier waarop het water de voorziening passeert. De volgende systemen zijn te onderscheiden: nokkenstenen (passerende verharding), poreuze stenen (doorlatende verharding) en halfverhardingen. Er zijn ook ontwikkelingen waarbij het wegdek niet doorlatend is, maar het regenwater rechtstreeks (b.v. via kolken) in de bergingslaag onder het wegdek wordt gebracht.

De investeringskosten per m² infiltrerend oppervlak varieert zeer sterk: van 23 EUR/m² tot 70 EUR/m²; dit is afhankelijk van de opbouw en materialen die gehanteerd worden door de leveranciers.

Het systeem welke toegepast wordt bepaald het theoretisch te behalen rendement, in de praktijk zijn weinig metingen hiernaar verricht. .

Voor de waterbelasting wordt soms uitgegaan van een neerslaggebeurtenis met een herhalingsstijd van 10 jaar. Voor de ontwateringsdiepte is een maximale GHG van 0,6 m onder de bergingslaag voor primaire wegen een veilige marge, bij secundaire wegen wordt hiervoor wel 0,3 m onder de bergingslaag aangehouden. Infiltreren bij voorkeur alleen in een ondergrond met een k-waarde groter dan 1 m/dag. De verharding kan het beste vlak, dus zonder afschot, worden aangelegd zodat het regenwater op een groot oppervlak kan infiltreren. Het beheer van de verharding bestaat uit het vegen en zuigen ter voorkoming van dichtslibbing.

8.1 DEFINITIE

Onder doorlatende verharding wordt verstaan:

Doorlatende verharding is een samenstel van een al of niet doorlatende verharding met een daaronder gelegen bergende en/of zuiverende en/of transporterende laag.

FIGUUR 8.1 WEERGAVE DOORLATENDE VERHARDING [41]



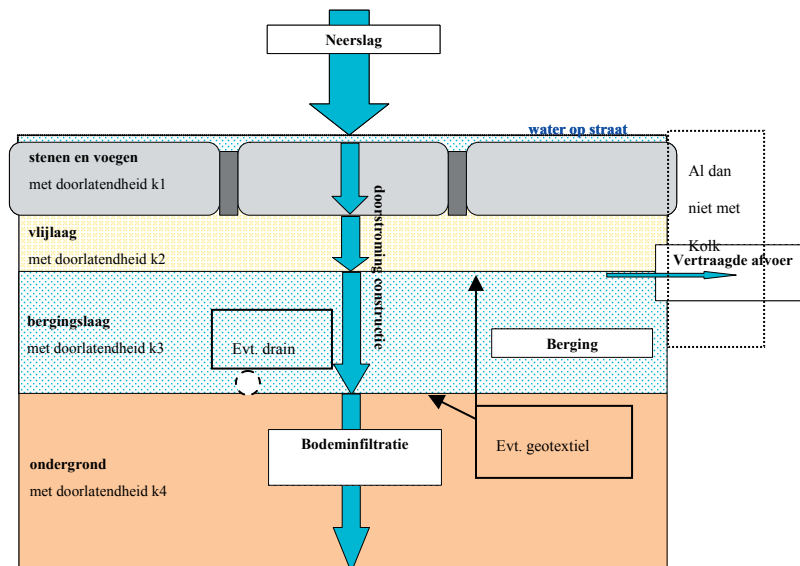
8.2 WERKING

Doorlatende verharding bestaat uit een wegdek dat waterdoorlatend of waterpasserend is. Deze is zodanig waterdoorlatend/waterpasserend dat het water snel naar de onderliggende laag wordt gevoerd. Vanaf de onderliggende laag kan het water in de bodem infiltreren. Er kan ook een drain in de bergingslaag worden aangebracht zodat het water vertraagd wordt afgevoerd. Daarnaast bestaan er ook varianten waarbij het wegdek niet doorlatend is, maar er wel een waterbergende laag onder het wegdek aanwezig is. De werking van de bergingslaag blijft het zelfde.



Deze onderliggende laag is zo opgebouwd dat deze voldoende water kan bergen. Voor waterdoorlatende verhardingen worden diverse systemen gebruikt. Belangrijk aandachtspunt bij waterdoorlatende verharding is de funderingslaag. Deze moet voldoende stabiel zijn voor bijvoorbeeld zwaar verkeer maar ook voldoende poreus zijn om water te kunnen bergen. Traditioneel gebruikt zand voldoet niet aan deze eisen.

FIGUUR 8.2 WATERSTROMING [52]



De volgende processen bepalen de zuiverende werking van doorlatende verharding:

- Filterende werking van de doorlatende verharding en funderingslaag
- Adsorptie aan reactieve deeltjes in de fundering en de ondergrond (met name organisch stof, metaaloxides en kleideeltjes)
- Afbraak door microbiële omzettingsprocessen

8.3 SYSTEMEN

Onderstaand volgt een beschrijving van verschillende systemen.

Waterpasserende verharding: zijn stenen met speciale voegen waardoor het water via de voegen weg kan lopen naar de funderingslaag. Voor nokkenstenen dient speciaal vulmiddel voor de voegen gebruikt te worden. Te fijn materiaal leidt tot verstoppingen.

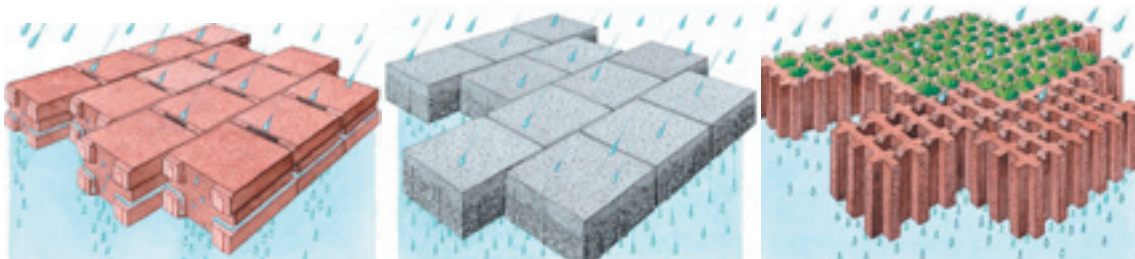
Waterdoorlatende verharding: deze stenen laten water door. Ze zijn waterdoorlatend door een speciaal mengsel met bijvoorbeeld grind erin.

Halfverhardingen: lijken in grote lijnen op poreuze stenen. Onder halfverhardingen vallen grind en gebroken puin.

Doorgroeibareverharding: Zijn elementen zoals graskeien, kunststofplaten en -tegels. Deze elementen zijn vaak in kunststof of beton uitgevoerd. Deze elementen kunnen dichtgroeien met gras of gevuld worden met grind. De elementen moeten zorgen voor voldoende draagvlak zodat zij bijvoorbeeld toegepast kunnen worden op parkeerplaatsen [52].

Waterbergende verharding: Dit is verharding met een dichte toplaag met daaronder een waterbergende laag.

FIGUUR 8.3 WATERPASSEERBARE STEEN (LINKS), POREUZE STEEN (MIDDEN), DOORGROEIBAREVERHARDING (RECHTS)



Naast de systemen is er ook een onderverdeling te maken in de manier waarop het regenwater wordt afgevoerd.

- Rechtstreekse infiltratie vanuit de buffer naar de bodem
- Vertragende afvoer (via drain) naar oppervlaktewater

8.4 CRITERIA

Om de verschillende voorzieningen met elkaar te vergelijken zal bij de elk van de voorzieningen gekeken worden naar dezelfde criteria.

8.4.1 INVESTERINGSKOSTEN EN EXPLOITATIEKOSTEN

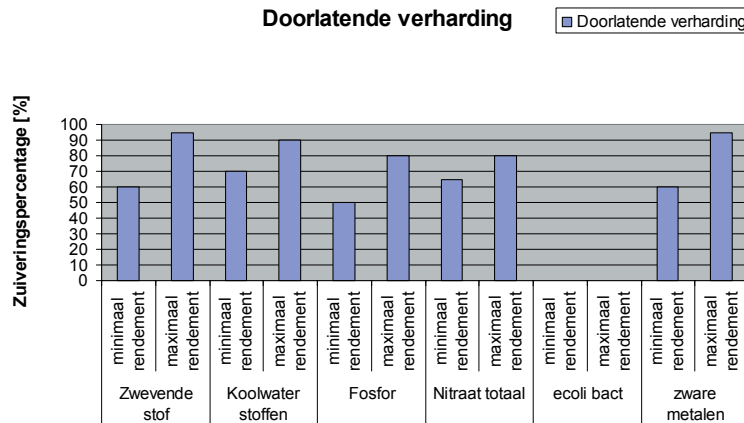
- De investeringskosten per m² infiltrerend oppervlak varieert zeer sterk: van 23 EUR/m² tot 70 EUR/m². De bedrijven hanteren afschrijvingstermijnen van 5 tot 30 jaar voor deze verhardingen. Dit resulteert in sterk verschillende BTJK. De Bruto Totale Jaarlijkse Kosten (BTJK) in EUR/jaar/m² doorlatende verharding, varieert van 2 tot 15 EUR/jaar/m² doorlatend oppervlak. De bedrijven gaan ervan uit dat er geen onderhoud is aan deze voorzieningen¹⁵. Waterpasserende en waterdoorlatende verharding moeten met enige regelmaat worden gereinigd om de doorlatendheid in stand te houden. Er is nog weinig ervaring, maar naar verwachting moet dit met een frequentie van 1 x 5-10 jaar met een ZOAB-cleaner of speciale zuigwagens.

¹⁵ Grontmij Belgroma (2004), Hergebruik, buffering, infiltratie en verdamping van hemelwater van bedrijfsgebouwen en -oppervlakken: praktijkervaringen, Vlaams Kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken (Vito) in opdracht van het Vlaams Gewest

8.4.2 RENDEMENT

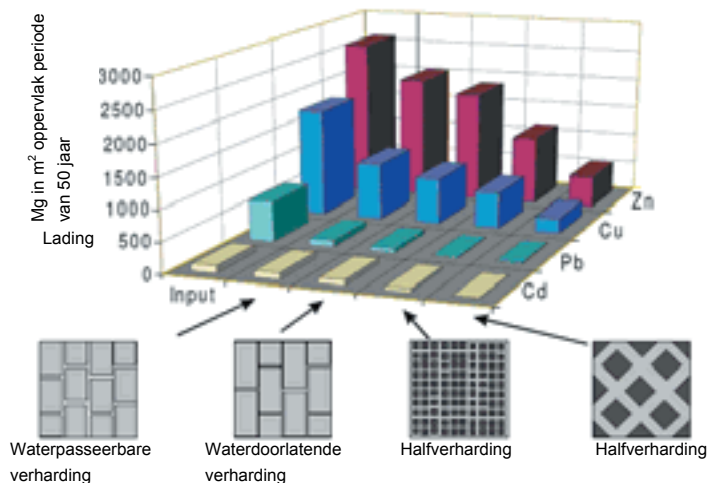
In figuur 8.4 zijn de rendementen gegeven afkomstig van diverse internationale onderzoeken samengebracht in het handboek “Sustainable drainage systems, hydraulic, structural and water quality advice” over SUDS, uitgebracht door CARIA in Groot-Brittannië. Het rendement is o.a. afhankelijk van het aangesloten oppervlak, vandaar dat er een bandbreedte zit in het rendement. De ecoli-bacterie is niet geanalyseerd bij doorlatende verharding.

FIGUUR 8.4 ZUIVERINGSRENDEMENT DOORLATENDE VERHARDING [47]



Bij een laboratorium studie in Duitsland zijn verschillende soorten doorlatende verhardingen getest op hun kracht om zware metalen vast te leggen. De resultaten hiervan zijn in figuur 8.5 weergegeven. De doorlatende verharding is berekend met een bekende concentratie zware metalen in het kunstmatige regenwater, dit is in de figuur aangegeven als input. Nadat het “regenwater” is gevallen gaat het door de verharding heen en de constructie die eronder is aangebracht, uiteindelijk wordt het uitstroomde water opgevangen en geanalyseerd op de concentratie aan zware metalen. Deze concentraties zijn weergegeven aan de rechterkant van de input, in milligram per vierkanten met per 50 jaar. Uit de figuur kan geconcludeerd worden dat doorgroeibareverharding het best in staat is om zware metalen vast te houden [54].

FIGUUR 8.5 VASTLEGGING VAN ZWARE METALEN DOOR VERSCHILLENDE DOORLATENDE VERHARDING [54]



8.4.3 BEHEERSASPECTEN

Het beheer van de verharding bestaat uit het vegen en zuigen ervan. Bij het zuigen van de verharding wordt altijd een deel van het voegmateriaal verwijderd omdat hier de verontreinigingen zitten. Bij het schoonzuigen van de verharding dient rekening gehouden met de zuigkracht, bij een te grote zuigkracht worden de stenen opgetild en wordt materiaal vanuit de vlijlaag meegezogen waardoor verakkingen kunnen ontstaan.

8.4.4 ROBUUSTHEID

Schommeling in de debieten (piekbuien) kunnen goed opgevangen worden door doorlatende verharding. Het afstromende hemelwater moet alleen niet te veel fijne deeltjes bevatten anders bestaat de kans dat de doorlatende verharding dichtslibt.

8.4.5 RUIMTEBESLAG/INPASBAARHEID

Doorlatende verharding is, met uitzondering van wegen waar met hoge snelheid en zeer zwaar verkeer overheen gereden wordt, overal toepasbaar.

Er zijn geen beperkingen aan de ruimtebeslag van doorlatende verharding. Het is toepasbaar in open en dichtbebouwd gebied. Er dient wel opgelet te worden voor bladval en beschaduwde plekken (mosgroei).

8.4.6 OVERLAST

Doorlatende verharding zorgt, net zoals andere voorzieningen voor problemen wanneer het niet goed functioneert. De overlast zal dan met name bestaan uit water op straat. Deze problemen kunnen worden voorkomen door goed en regelmatig onderhoud en/of door het toepassen van een buffervoorziening (bijvoorbeeld het plaatsen van kolken met een hoge inlaat of een bodempassage).

Doorlatende verharding functioneert in normale omstandigheden net zoals "ouderwetse bestrating".

8.5 RICHTLIJNEN

8.5.1 ONTWERP

- Voor de ontwateringsdiepte is, een maximale GHG van 0,6 m onder de bergingslaag voor primaire wegen en 0,3 m onder de bergingslaag voor secundaire wegen een veilige marge die flexibiliteit biedt
- Bepaal vooraf de doorlatendheid van de bodem en de gemiddelde hoogste grondwaterstand.

Infiltratieer bij voorkeur alleen in een ondergrond met een k-waarde groter dan 1 m/dag. Indien $k < 1$ m/dag is, dan moet er een afvoerdrain worden toegepast richting het oppervlaktewater. Het is veelal onwenselijk om grondwater in de voorziening te krijgen, aangezien dit voor uitvlokking van ijzer, bacteriologische aangroei en pH-fluctuaties kan zorgen. De hoogste grondwaterstand dient dus op voldoende afstand onder de voorziening te liggen, zeker bij ijzerhoudend grondwater. Bij dergelijke hoge grondwaterstand komt ook de draagkracht en vorstgevoeligheid in gevaar.

- Leg de ontwerp- en aanleggegevens van de voorziening goed vast.

Omdat het ontwerp van doorlatende verharding tot op heden niet gestandaardiseerd is, en het ontwerp bovendien afhankelijk is van de locatie, moeten beheerders ontwerpgegevens, de revisie van de aanleg, eventuele nulmetingen, opleveringsinspecties en uitgevoerd onderhoud goed vastleggen. Alleen op basis van die gegevens kunt u het functioneren van een voorziening beoordelen

- Vraag garantie bij leveranciers.
Omdat de kennis van en de ervaring met bepaalde materialen of nieuwe technieken nog beperkt is, kunt u er bewust voor kiezen om de leverancier om garantie te vragen. Bijvoorbeeld door een doorlatend-verhardingsproject als een Design & Construct-project uit te laten voeren met een onderhoudsverplichting voor een aantal jaren
- Stem het ontwerp af op het beheer. Doorlatende verharding moet bij voorkeur zo ontworpen worden dat de voorziening goed kan worden onderhouden. Stem uw ontwerp af op het aanwezige materieel en op het gebruikelijke beheerregime
- Kies het juiste geotextiel, stem een geotextiel af op de omliggende grondslag. Overweeg of een meerlaags filterdoek nodig is. Vooral de korrelverdeling van de grondslag is van belang. Een 'standaard' geotextiel kan door dichtslibbing op termijn tot problemen leiden. Eenmaal dichtgeslibd, kan het textiel zonder ingrijpende maatregelen niet of nauwelijks meer goed doorlatend worden [36]
- Er wordt geadviseerd om uit te gaan van een neerslaggebeurtenis met een herhalingstijd van 10 jaar ($T=10$). Dit betekent dat ten minste 210 l/(s.ha) verwerkt moet kunnen worden. Bij toepassing van een correctiefactor 2 voor een goede werking in zowel een verzadigde, als een onverzadigde situatie, moet de initiële doorlatendheid van de constructieonderdelen minimaal 420 l/s.ha bedragen. Dit is vooral van belang voor de toplaag. Dit omdat vervuiling al deels door de toplaag wordt afgevangen en omdat de poriën in de overige constructieonderdelen groter zijn dan in de toplaag
- De doorlatendheid van de ondergrond (uitgedrukt in k [m/d]) is niet direct bepalend voor het wel of niet kunnen toepassen van een waterdoorlatende constructie. Wel bepaalt de doorlatendheid de benodigde bergingsruimte in de constructie en is daarmee een belangrijke parameter bij het ontwerpen en dimensioneren. De k -waarde moet worden bepaald aan de hand van doorlatendheidsmetingen. Als bij een bepaalde infiltratie- en afvoercapaciteit niet de benodigde berging kan worden gerealiseerd, kunnen drainage-middelen worden toegepast, of kan de bodem worden opgehoogd. Drainage kan ook andere doelen dienen, zoals het voorkomen van grondwateroverlast
- De eisen voor draagkracht en stabiliteit die gelden voor traditionele wegconstructies, kunnen ook worden toegepast op waterdoorlatende wegconstructies
- Zettingen kunnen de werking van een waterdoorlatende constructie verminderen en moeten daarom worden voorkomen. In zettingsgevoelige gebieden is onderzoek noodzakelijk. Hiervoor kunnen dezelfde normen worden toegepast als bij traditionele wegverharding
- Boomwortels kunnen de constructie aantasten en daarmee de werking ervan. Hiermee dient bij het ontwerp rekening te worden gehouden. Bij de aanleg van de waterdoorlatende constructie kunnen bijvoorbeeld speciale wortelzones worden gecreëerd, die worden begrensd door wortelwerend doek. Als de verharding naast een onverhard deel wordt aangelegd, kan inspoeling van grond en dergelijke worden voorkomen door voorzieningen als boomroosters en opstaande randen [52]
- Een belangrijk aandachtspunt bij doorlatende verharding is de ondergrond die water afvoert, buffert en tevens een goede fundering dient te verschaffen voor de bovenbelasting. Bij doorlatende verharding kan een drain worden toegepast, die dienst doet als overloop als de bergingscapaciteit of ontwateringseis overschreden wordt
- Verricht een goed geohydrologisch onderzoek om inzicht te krijgen in de mogelijkheden en beperkingen betreffende de infiltratie van hemelwater
- Voor waterdoorlatende verharding geldt dat er bij voorkeur een overloopvoorziening aanwezig moet zijn om water op straat te voorkomen. En overloop hoeft niet altijd wel dient te worden nagegaan waar bij falen van de voorziening, door flinke bui en/of dichtslibbing

van de voorziening, het water heen stroomt of weg kan. In noodgevallen kunnen er ook een aantal stenen worden losgetrokken

- Er dient extra aandacht besteed te worden aan het onderhoud op locaties waar veel fijne en organische delen kunnen vrijkomen. Dit vanwege mogelijke verstopping van de top-laag. Een dergelijke locatie kan een straat met veel bomen zijn. Gebieden met veel bomen vormen een risico. De bladeren van de wilg, populier, es en els verteren gemakkelijk en kunnen voor verstopping zorgen. De betreffende beheerder moet de bladeren verwijderen in de periode dat de bladeren vallen
- In woonwijken kunt u de doorlatende verharding beter alleen in de rijweg aanleggen. Het regenwater van de parkeervakken stroomt dan af naar de rijbaan. De rijbaan is eenvoudiger schoon te maken dan de parkeervakken (door geparkeerde auto's). Daarnaast krijgt u dan ruimte om kabels, leidingen en wortelzones van bomen in te passen
- Pas waterinfiltrerende verharding bij voorkeur niet toe als er nog regelmatig bouwverkeer overheen rijdt. Dit vergroot de kans op schade en doet het onderhoud sterk toenemen
- Denk na over de plaats van kabels en leidingen, betrek hierbij de NUTS-bedrijven. Voor de kabels en leidingen dienen extra voorzieningen getroffen worden in de constructie
- Informeer gebruikers, bewoners, aannemer et cetera. over het speciale aan dit type verharding en de omgangseisen die het met zich meebrengt [53]
- Stem de voegvulling af op de onderliggende vlijlaag.

Uit de praktijk blijkt dat als de voegvulling fijnkorrelig is en de vlijlaag een grovere korrel heeft, de voegvulling in de vlijlaag zakt. Dit gebeurt bijvoorbeeld door trillingen. Hierdoor kunnen de stenen los gaan liggen; dit leidt tot 'klapperende' stenen en tot een verhoogde kans op beschadigingen van de stenen [36]

8.5.2 AANLEG

- De verharding kan het beste vlak, dus zonder afschot, worden aangelegd zodat het regenwater op een groot oppervlak kan infiltreren. Bij een teveel aan water dient het mogelijk te zijn het water af te voeren om wateroverlast te verminderen
- Bij de opslag van de materialen zorgen dat ze niet vervuilen en/of beschadigen [52]
- Voorkom verdichting van de ondergrond.
Tracht bij ontgraven de bestaande ondergrond zo min mogelijk te roeren en te verdichten, zodat de waterdoorlatendheid behouden blijft. Aanleg tijdens natte perioden kan leiden tot versmering van de bodem, waardoor een ondoorlatende laag ontstaat. Ook een geotextiel dient bij voorkeur droog en schoon aangebracht te worden, om verminderde doorlatendheid door dichtslibbing te voorkomen
- Zorg voor een vlakke onderzijde van het ontgraven cunet.
Verwijder stenen en andere scherpe objecten om beschadiging van het geotextiel en andere materialen en daarmee van grondinspoeling, te voorkomen. Graaf de sleuf dieper uit dan de ontwerpdiepte en breng op de bodem een laag (drain)zand aan. Zeker bij gronden met een lage k-waarde ontstaat zo enige extra berging en een geleidelijke overgang naar de ongeroerde grond [36]
- Technische eisen, zoals het aftrillen van de bestrating met een rubberen trilplaat en het direct na aanleg verwijderen van overtollig zand en vuil, dienen te worden opgenomen in het bestek. Een goed toezicht op de juiste naleving hiervan is zeer belangrijk [53]

8.5.3 BEHEER

- Waterdoorlatende verharding kan zowel met een veeg-zuigwagen als met een zoab-reiniger worden schoongemaakt. Hiermee wordt de doorlatendheid verhoogd, soms tot dichtbij de aanvankelijke waarde. Het type verharding blijkt hierbij een rol te spelen. Bij infiltratie via de voegen wordt bij reiniging een deel van het voegmateriaal verwijderd, wat uiteraard een groot positief effect heeft. Als te veel van het materiaal is verdwenen, kan het worden aangevuld, waarbij dus wel het juiste split moet worden toegepast. Bij infiltratie via poriën kunnen hardnekkige verontreinigingen achterblijven na reiniging
- Het is belangrijk om direct na aanleg de verharding al te reinigen. Aanbevolen wordt een onderhoudsprogramma te koppelen aan monitoring van de doorlatendheid van de toplaag. Hierbij kan de verharding in eerste instantie worden opgenomen in het reguliere onderhoud. Op basis van de monitoringsgegevens kan het onderhoudsprogramma zonodig worden bijgesteld [52]
- Onkruidbestrijding door middel van staalborstels wordt in combinatie met poreuze stenen bij voorkeur niet toegepast aangezien deze manier slijtage kan veroorzaken
- Het beheer is sterk afhankelijk van de soort verharding (zuigen, vegen, maaien). Inlichtingen kan men inwinnen bij de producent van de infiltratietechniek
- De infiltratiecapaciteit wordt behouden door adequaat beheer en onderhoud van de voorziening. Beheer is afhankelijk van de voorziening en kan bestaan uit vegen en zuigen. Het vegen dient met een frequentie in de orde van 2 keer per jaar te gebeuren. Bij locaties waar markten, evenementen en dergelijke plaatsvinden, zal er een hogere frequentie gehanteerd moeten worden. Het zuigen 1 keer per vijf à tien jaar
- Een hogere onderhoudsfrequentie leidt tot een hogere doorlatendheid. Het is echter niet altijd nodig om een heel hoge doorlatendheid te behouden. Bij het ontwerp wordt gerekend met een doorlatendheid die groter is dan noodzakelijk. In de praktijk blijkt dan ook, dat bij normaal onderhoud de doorlatendheid na jaren vaak nog steeds voldoende is [53]

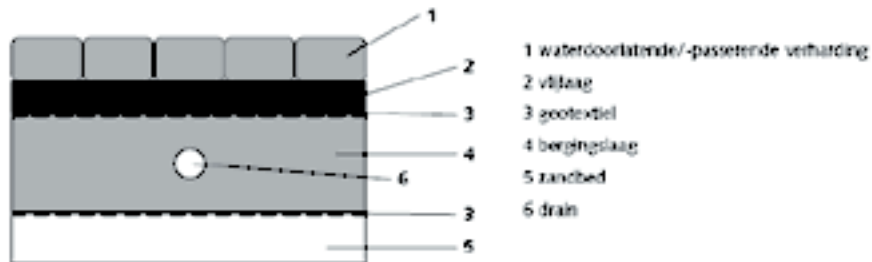
FIGUUR 8.6

STANDAARD ONDERHOUD MET EEN VEEG- EN ZUIGMACHINE (LINKS), ZOAB-CLEANER (RECHTS) [53]



- Bij het beheer wordt er een onderscheid gemaakt tussen waterdoorlatende-/waterpasseerbare verharding en halfverharding (zie figuur 8.5 en 8.6). Waterpasseerende stenen hebben dezelfde opbouw van de constructie als de waterdoorlatende verharding heeft. De waterpasseerende stenen hebben alleen een brede voeg waardoor het water de bergingslaag bereikt. De steen zelf is niet of veel minder doorlatend [48]

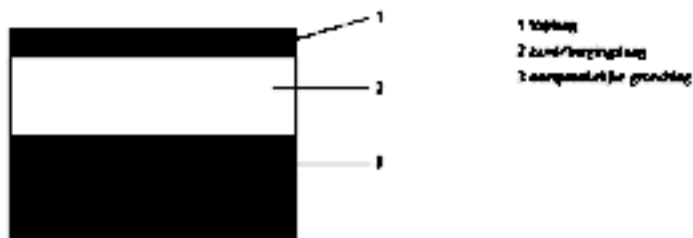
FIGUUR 8.7 DWARSDOORSNEDE VAN WATERDOORLATENDE EN WATERPASTERENDE VERHARDING [48]



TABEL 8.1 BEHEER WATERDOORLATENDE EN WATERPASTERENDE VERHARDING

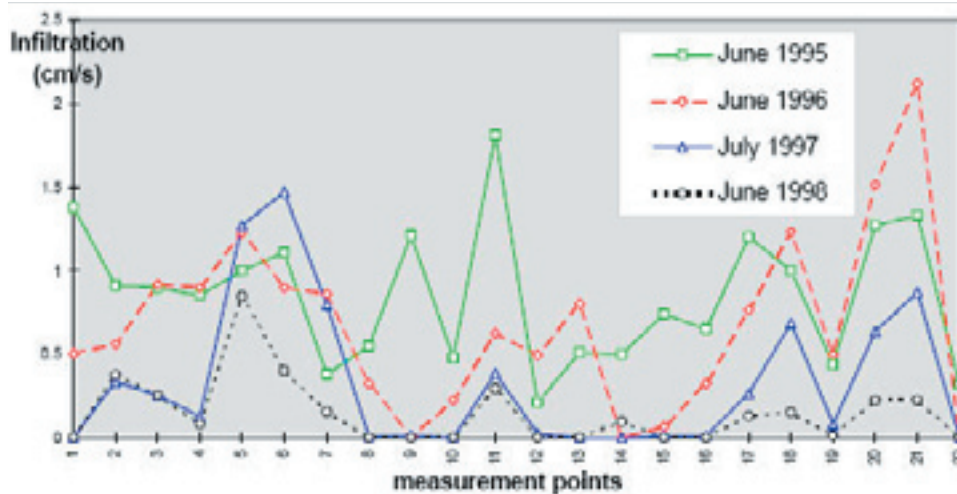
Aansturing maatregel	Aanbevolen frequentie	Onderdeel	Aspect	Maatregel	Aanbevolen frequentie
Tijdsonafhankelijk		Verharding	Dichtslibben	Bouwerkeer, zand- en grondtransporten en zandopslag beperken	
		Gehele systeem	Verzakking	Zwaar verkeer en veelvuldig draaien op de verharding beperken	
		Gehele systeem	Bodemkwaliteit	Vervuiling bij de bron voorkomen	
Periodiek		Verharding	Dichtslibben, bodemkwaliteit	Straat vegen	4-12/j
		Drain	Dichtslibben, afzetting, verstopping	Drain doorspuiten	1/j
Visuele inspectie	1/j	verharding	Verzakking	Verzakking herstraten	Door inspectie
Doorlatendheid meten	1/ 2-5 j	Gehele systeem	Afzetting, dichtslibben	Vegen/zuigen verharding en voegen	Door inspectie
		Gehele systeem	Dichtslibben	Onkruid bestrijden met heet water	Door inspectie
Bodemmonster	1/5 j	Verharding	Bodemkwaliteit	Vegen/zuigen verharding voegen	Door inspectie
monster bergingslaag	1/5 j	Gehele systeem	Bodemkwaliteit	Vervuiling bij de bron beperken	Door inspectie
monster grondwater	1/5 j	Drain	Waterkwaliteit	Vegen/zuigen verharding voegen	Door inspectie
monster drainwater	1/5 j	bergingslaag	Bodemkwaliteit	Bergingslaag (deels) vervangen	Door inspectie

FIGUUR 8.8 DWARSDOORSNEDE VAN EEN HALFVERHARDING (LEIDRAAD C3200)



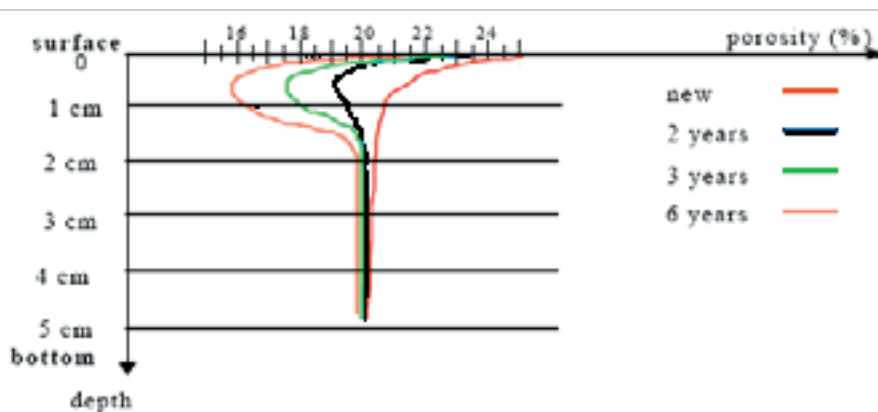
- De belangrijkste beheervereisten van waterdoorlatende verhardingen zijn gerelateerd aan het risico van het dichtslibben van de bovenste poreuze laag. De resultaten die in figuur 8.9 worden getoond, werden verkregen tijdens de monitoring van een 700 m lange weg die in 1988 is bestraat met een poreuze bestrating. De eerste metingreeks werd uitgevoerd zeven jaar na aanleg, onmiddellijk na het schoonmaken van de bestrating (Raimbault et al, 1999). De diepte van de infiltratie, gezien in tijd, heeft een waardevermindering van gemiddeld 0,85 cm/s naar gemiddeld 0,15 cm/s tijdens de drie jaar durende monitoringsperiode [47]

FIGUUR 8.9 VARIATIE IN DICHTSLIBBING OP VERSCHILLENDE LOCATIES [47]



In een afzonderlijke studie, zijn er van doorlatend asfalt monsters genomen, afkomstig uit een autosnelweg en geanalyseerd met een gamma straalsonde om de variatie in dichtheid en diepte (Pichon, 1993) te bepalen. Figuur 8.10 geeft de resultaten weer. Daaruit blijkt dat alleen de bovenste twee centimeter van het asfalt minder doorlatend is geworden. Uit de resultaten van beide studies kan men concluderen dat het dichtslibben/vervuild raken van de verharding voornamelijk voorkomt in bovenste laag van het materiaal.

FIGUUR 8.10 DE LOCATIE EN GROOTTE VAN DICHTSLIBBING VAN OPEN ASFALT IN DE TOPLAAG [47]



8.6 VOOR- EN NADELEN

VOORDELEN

- Waterdoorlatende verharding kan zowel worden toegepast in gebieden met een goed doorlatende ondergrond als gebieden met een slecht doorlatende bodem
- Bij een goed doorlatende ondergrond maximaliseert waterdoorlatende verharding de infiltratie van regenwater, waardoor het grondwater wordt aangevuld
- Bij een slecht doorlatende ondergrond zorgt de berging in de constructie ervoor dat het oppervlaktewater niet ineens al het regenwater te verwerken krijgt
- De filterende werking van de constructie (soms versterkt door biologische afbraak door micro-organismen) beperkt/voorkomt verontreiniging van bodem en grondwater
- Bij het afkoppelen van verhard oppervlak neemt de hydraulische belasting van de rioolwaterzuiveringsinstallatie af en de vuilgraad van het afvalwater toe zodat een beter zuiveringsrendement bij de RWZI ontstaat [52]
- Verharding met een open structuur kan geluidsabsorberend zijn (reducties in de orde van enkele dB's ten opzichte van traditionele verharding)
- Eenvoudige aanleg zowel in bestaand gebied als bij nieuwbouw
- Weinig extra ruimtebeslag nodig
- Meervoudig ruimtegebruik
- Achterwege laten van HWA-riool
- Goed te combineren met bestaande bestrating
- Duurzame oplossing (vasthouden, bergen, vertraagd afvoeren)
- Gelijke of lagere aanlegkosten dan traditioneel HWA (bij totale infiltratie) [53]

NADELEN

- Zonder adequaat onderhoud en beheer kan de infiltratiecapaciteit snel afnemen tot die van reguliere verharding
- De draagkracht is vaak kleiner ten opzichte van reguliere verharding
- Hoge aanlegkosten (afhankelijk van lokale omstandigheden kunnen de kosten voor extra maatregelen en voorzieningen hoog zijn)
- Afname draagkracht constructie bij verzadiging
- Onbekende hydraulische levensduur [53]
- Omdat in regenwater opgeloste stoffen via de constructie in bodem en grondwater terecht kunnen komen, is waterdoorlatende verharding niet zonder meer toepasbaar in alle situaties (bijvoorbeeld bij overslag van gevaarlijke stoffen)
- Tijdens aanleg en gebruik moet rekening worden gehouden met de speciale eigenschappen van een doorlatende constructie. Zo is het bijvoorbeeld niet wenselijk om bouwverkeer over een waterdoorlatende verharding te laten rijden [52]

8.7 ERVARINGEN

8.7.1 UTRECHT

Om te bepalen welke manier van toepassing van waterdoorlatende verharding in onder meer de nieuwbouwwijk Leidsche Rijn in Utrecht het meest geschikt zou zijn, heeft er een onderzoek plaatsgevonden. In zes proefvakken zijn diverse types waterdoorlatende verharding uitgetest op vooral hun infiltratievermogen. Aandacht aan het kwalitatieve functioneren is er niet geweest. Uiteindelijk is gekozen voor waterdoorlatende verharding van Maas & Waal, Geostone, die volgens een normaal straatpatroon gelegd kunnen worden. De onderliggende

funderingslaag is zelf uitgedacht. Tien jaar na aanleg functioneert de waterdoorlatende verharding nog steeds goed en is er in weinige mate sprake van verstopping en spoorvorming. Het onderzoeksrapport van dit onderzoek is op te vragen bij het ingenieursbureau van de gemeente Utrecht [113].

8.7.2 ALMERE

In Almere zijn verschillende typen waterdoorlatende verharding gedurende een jaar gemonitord, op hun werking, in een aantal proefvakken. Voor deze monitoring is Europese subsidie verkregen en is er een rapportage verschenen in 2004 [93].

Doel van het onderzoek was om proefvakken met waterdoorlatende verharding in Almere Buiten gedurende een jaar te monitoren en daarbij op basis van de resultaten advies te geven over welke waterdoorlatende verharding geschikt is voor de parkeerplaatsen op het bedrijventerrein Stichtse Kant en eventueel andere delen van Almere.

Er zijn 4 proefvakken met waterdoorlatende- en 1 proefvak met normale verharding (ter referentie) aangelegd:

- Proefvak 1: 100 % Aquaflow volgens voorgeschreven opbouw
- Proefvak 2: een deel Aquaflow (20 %) volgens voorgeschreven opbouw, overige deel normale betonstraatstenen
- Proefvak 3: 100 % Ecodrain met voorgeschreven opbouw
- Proefvak 4: 100 % Ecodrain met afwijkende fundering van grof steen (25 cm in plaats van 40 cm)

Er is zowel kwalitatief als kwantitatief onderzoek verricht. Over het algemeen blijft de waterdoorlatende verharding bij een bui droger dan bij traditionele bestrating. Bij Ecodrain is het regenwater het snelst in de bodem verdwenen. Na een jaar is de doorlatendheid afgenomen (onder invloed van bouwactiviteiten). Op de bereden stukken heeft Ecodrain een hogere doorlatendheid dan Aquaflow. Geadviseerd wordt om bij gecombineerde verharding (proefvak 2) in plaats van 20 % doorlatende 50 % doorlatend te realiseren om te zorgen voor een snelle afvoer. Doorlatende verharding is zeer goed bestand tegen spoorvorming (met uitzondering van Ecodrain met 25 cm fundering), beter dan de traditionele verharding.

Uit metingen blijkt dat berging van alle vakken voldoende is, zelfs ten tijde van een extreme bui, de pieken worden bij waterdoorlatende verharding afgevlakt.

Kwalitatieve metingen zijn verricht aan de vakken met Aquaflow en van de neerslag. De metingen vertonen tegenstrijdigheden waardoor er geen conclusies aan verbonden kunnen worden. De problemen zijn te vinden bij de monsternamen.

Het eindoordeel is dat waterdoorlatende verharding goed toepasbaar is. Bijkomend voordeel zou kunnen zijn dat door het bergend vermogen er minder oppervlaktewater op het (bedrijven)terrein nodig is. Hierdoor zou er meer terrein uitgeleverd kunnen worden, wat een economisch voordeel biedt.

8.7.3 ERVARINGSONDERZOEK

In 2004 is door Tauw onder 37 gemeenten een onderzoek gehouden naar de ervaringen met doorlatende verharding. Dit zijn de belangrijkste conclusies:

- De bekendheid c.q. toepassing van waterdoorlatende verharding is relatief klein (26 %)
- Dit heeft tot gevolg dat er nog steeds relatief weinig praktijk informatie beschikbaar is
- Er zijn duidelijke voor- en tegenstanders bij gemeenten te onderscheiden voor het toepassen van waterdoorlatende verharding (44 % is niet van plan het toe te passen)

- Gemeenten waar verhardingen zijn toegepast, zijn overwegend positief over de toegepaste constructies
- Tegenstanders zien problemen in gladheidbestrijding en beheer van waterdoorlatende verhardingen. Dit wordt echter tegengesproken door de gemeenten waar verhardingen al zijn toegepast

Ervaringen die hieruit naar voren kwamen zijn:

- Bouwverkeer verbieden over doorlatende verharding te rijden. Dit was in het geval van een parkeerplaats nog wel te regelen, maar wordt moeilijk wanneer alle woonstraten doorlatend worden uitgevoerd
- De berging van de doorlatende verharding is ruim voldoende bij een fifty-fifty verdeling doorlatend-ondoorlatend. Met andere woorden, 1 m² doorlatende verharding kan het regenwater van 2 m² verharding verwerken
- Om verontreiniging van de doorlatende verharding tijdens het bouw- en woonrijp maken te voorkomen, is een juiste bouw- en opleveringsvolgorde van belang

FIGUUR 8.11



9

LITERATUURLIJST

Uitgangspunten/kader

1. Millenaar, S.R.C. (2005), implementatie van de kaderrichtlijn water in het stedelijk waterplan Zeeuws-Vlaanderen, Afstudeerrapport universiteit Twente, Hulst
2. Directoraat generaal Milieu (2004), Beleidsbrief regenwater en riolering, herijking regenwaterbeleid, kenmerk BWL/2004052003, Den Haag
3. Boogaard, F.C., Jong de, S.P. (2002) Overzicht samenstelling afstromend regenwater, Tauw bv, Rapport R001-3934314FCB-D01-U, Utrecht
4. Boogaard, F.C., Do, T.T. (2003), Beslisboom aan- en afkoppelen verharde oppervlakken 2003, Tauw bv, Rapport R001-425929TTD-D01-U., Deventer
5. Peters, J.A.V.F.M., Mathijssen R.W.M. et al (2001), Bedrijven en milieuzoneringen, VNG, Den Haag
6. Stowa (2004), Omgaan met hemelwater bij bedrijfs en bedrijventerreinen, Rapportnummer 2004-23, ISBN 90.5773.257.2, Utrecht.
7. Commissie intergraal waterbeheer (2002), afstromend wegwater, werkgroep 4, Den Haag
8. Jong, M. de et. Al (1999), Bedreigen verkeerswegen het grondwater? Een diepe screening, H20, nr.11 pp 22-24
9. Boogaard, F.C (2005), De vuilemissie van regenwaterstelsels, rioleringswetenschappen, nr.5, pp. 28-40
10. Augustijn D.C.M. (2003), Dictaat civieltechnische milieukunde, Universiteit Twente, Enschede
11. Boogaard, F.C., Wentink, R. (1999), Praktijkproef infiltratie Zwolle-zuid, Tauw bv, Deventer
12. Boogaard F.C., Mossevelde T. van, Schipper P.N.M., (2005), Kwaliteitsaspecten infiltreren stedelijk water beter bekeken, Stowa Rapport 2005-23. ISBN 90.5773.312.9, Utrecht.
13. EPA - Detention Basin Analysis (EPA, 1986)
14. Sansalone, J.J., et al. (1998), "Physical Characteristics of Urban Roadway Solids Transported During Rain Events", ASCE Journal of Environmental Engineering, Vol. 124, No. 5.
15. Municipal Research & Services Center (1999), Protocol for the Acceptance of Unapproved Stormwater Treatment Technologies for use in the Puget Sound Watershed , American Public Works Association Washington Chapter - Stormwater Managers Committee
16. U.S. Environmental Protection Agency (1983), Final Report of the Nationwide Urban Runoff Program, Water Planning Division, Washington, D.C.
17. Lloyd, S.D., Wong, T.H.F.(1999), Particulates associated pollutants and urban stormwater treatment, department of civil engineering, Monash University
18. Walker, D. et. al. (1997), Stormwater Sediment Properties and Land Use in Tea Tree Gully, South Australia, AWWA 17th Federal Convention, Proceedings Volume2

19. Stone, M., and Marsalek, J. (1996). Trace metal composition and speciation in street sediment: Water Air and Soil Pollution, 87 (1/4): 149-168, Sault Ste. Maria, Canada
20. Sartor, JD, and Boyd, GB, (1972), Water pollution aspects of street surface contaminants, Report No. EPA-R2-72/081, US Environment Protection Agency, Washington, DC, USA.
21. Bradford, WL, (1977), Urban stormwater pollutant loadings: a statistical summary through 1972, Journal of Water Pollution Control Federation, 49:613-622.
22. Xanthopoulos (1992), Anthropogenic pollutants wash off from street surfaces, publicatie, pp 417-422
23. Chebbo, G. (1992), Solides des rejets urbains par temps de pluie: caractérisation et traitabilité. Ph.D. Thesis, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées , 410p + appendices, Paris, France
24. Colandini, V. en Legret, M. (1997) Impacts of porous pavement with reservoir structure on runoff waters, Proceeding of the Seventh International Conference on Urban Stormwater Drainage, , 9-13 sept, pp. 491-496, Hannover, Duitsland
25. Sansalone, J. J., Buchberger, S. G., and Koechling, M. T. (1997), Correlations between heavy metals and suspended solids in highway runoff: implications for control strategies. Transportation Res. Rec. 1483
26. Sartor, J.D., Gaboury, D.R., (1984), Street sweeping as a water pollution control measure, lessons learned over the past ten years, the science of the total environment, 33, pp 171-183
27. Brunner, P.G. (1998), Bodenfilter zur regenwasserbehandlung im misch- und trennsystem, handbuch wasser 4, band 10, Karlsruhe
28. Karlsson, K. en Viklander, M. (2006), Metal and organic content in gullypot mixture, the science of the total environment, Lulea (Zweden)
29. Peluso, V.F., Marshall P.E.A. (1992), Best management practices for south Florida, urban stormwater management systems, West Palm beach
30. Brombach et. al (1993), Experience with vortex separators for combined sewer overflow control, Water Science and Technology, vol 27, no. 5-6, pp 93-104
31. Gromaire-Mertz, M.C., Garnaud, S. Gonzalez, A. and Chebbo, G. (1999), Characterisation of urban runoff pollution in Paris, Wat. Sci. Tech., vol. 39, n°2, p. 1-8
32. Childs, E.C. (1969) An introduction to the physical basis of soil water phenomena. Wiley and Sons, London.
33. Gibbs, R.J., Matthews, M.D. and Link, D.A. (1971) The relationship between sphere size and settling velocity. Jnl Sed Petrol 41(1), 7-18.
34. Watson, R.L. (1969) Modified Rubey's Law accurately predicts sediment settling velocity. Water Resources Res. 5, 1147-50.
35. Commissie Integraal Waterbeheer (2001), Impulsen voor water. Kansen in verband met de waterketen, betere benutting vraagt om een sterke impuls!, Werkgroep 3 (Water in de Stad), Den Haag
36. Leidraad riolering B2250
37. Witteveen en Bos/Provincie Limburg (2004), Technische onderbouwing richtlijnen afkoppelen, Breda
38. Rioned (2001), Schoon uit het riool, af- en niet aankoppelen in de praktijk, Stichting Rioned

LAMELLENSEPARATOR

39. www.rioned.net → leidraad riolering
40. www.aqa.nl
41. Werkgroep Riolering West-Nederland (2004), beslisboom aan- en afkoppelen, aanvulling bezinkvoorzieningen voor regenwater
42. www.rioned.net → Producten overzicht afkoppelen (ProA)
43. 3D water, product folder, Combi-afkoppelput

HELOFYTFILTER

Zie diversen

BEZINKBAK/-VIJVER

44. Hove, D. ten, en L.D.M Wensveen (1987), Rendement randvoorzieningen bergbezinkbassin in Amersfoort 8.1, s.l.
45. Stichting Wateropleidingen, Van Emissiespoor naar afkoppelen, Nieuwegein, 2004
46. CIRIA (2004), Sustainable drainage systems: Hydraulic, structural and water quality advice, London
47. BMPs in Europe, Daywater
48. Leidraad riolering C3200

BODEMPASSAGE

49. Stowa, Boogaard, F.C en Hulst, van der, W., Omgaan met hemelwater bij bedrijfs- en bedrijventerreinen, Utrecht, 2004
50. RIONED (2006), Boogaard, F., Bruins, G. en Wentink, R., Wadi's: aanbevelingen voor ontwerp, aanleg en beheer, Ede
51. Leidraad riolering B2200

DOORLATENDE VERHARDING

52. Tauw (2005), Leidraad waterdoorlatende verharding, R002-0461857LER-mfv-V01-NL, Deventer
53. Lith, G., Roorda, A., Steengoed infiltreren, onderzoek naar waterinfiltrerende verhardingen, gemeente Doetinchem, april 2005
54. Dierkes, C., Kuhlmann, L., Kandasamy, J., Angelis, G. (2002), Pollution retention capability and maintenance of permeable pavement

BESLISSING

55. CIRIA (2007), The SUDS manual, London
56. Witteveen en Bos/provincie Limburg (2004), Technische onderbouwing richtlijnen afkoppelen
57. Langeveld, J.G., Studie A: Reductie vuilemissie regenwaterriolen – Studie B: Opsporen foutaansluitingen, Royal Haskoning iov Gemeente Arnhem: Nijmegen, 2005

BIJLAGE 1 LAMELLENFILTERS

58. Osenga, W.A. (1989), Use and re-use of water and its pollutants, introduction in some aspects of water and waste water treatment and phase segregation technologies, Pielkenrood water treatment b.v., Assendelft
59. Facet, product folder, M-Pack
60. www.weerwoord.be/includes/forum_read.php?id=42944&tid=42944&exp=1
61. <http://med.hro.nl/weelij/AK/WaterDT/HBOWATERREADER200405.doc>
62. [http://www.watertechnowijzer.nl/zuivinfo/Technologiebeschrijvingen\(afval\)waterbehandeling](http://www.watertechnowijzer.nl/zuivinfo/Technologiebeschrijvingen(afval)waterbehandeling)
63. Troostwijk van M.D (2002), Waterdokter.nl, thema drinkwater, H2O, nr. 24, p 40-42
64. <http://www.lennotech.com/procesbeschrijving.html>
65. Rendementsbepaling twee typen nageschakelde technieken te Binnenmaas, waterschap Hollandse Delta
66. Aires, N, and J.P. Tabuchi (1995), "Hydrocarbons separators and stormwater treatment." (in French) TSM, Special Issue «Stormwater», No. 11, pp. #862-864
67. Rupperd, Y.(1993) "A lamellar separator for urban street runoff treatment." (in French) Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, no 183, pp 85-90.
68. Tramier B. (1983), Water Treatment Technology - IP 84-011. Institute of Petroleum. London, England.
69. Pitt R. (2002), Management of Wet-Weather Flow in the Watershed, Emerging Stormwater Controls for Critical Source Areas, CRC Press, Boca Raton
70. Daligaut, A., Meaudre D., Arnault, D., Duc, V. (1999), Stormwater and lamella settlers: efficiency and reality, Water Science and Technology, nr. 2 pp 93-101
71. Fourage, M. (1992), Assessment of the efficiency of a prefabricated separator for stormwater treatment. Thoughts to and tests of materials to trap hydrocarbons, Unpublished DESS student report, Universities of Nancy and Metz
72. Legrand, J., H. Maillot, F. Nougarede, and S. Defontaine (1994), A device for stormwater treatment in the urban development zone of Annoeullin, TSM, No. 11, pp. 639-643.
73. Stowa (2004), lamellenafscidders in bergbezinkbassins, Rapportnummer 2004-W03, ISBN 90.5773.250.5, Utrecht
74. Veldkamp, R.G. (1992), Een nieuwe visie op het rendement van bergbezinktanks, H2O, nr.22 pp 623-628.
75. Stowa (2005), de effectiviteit van kokerafscheiders in bergbezinktank in Limmen, Rapportnummer 2005-W02, ISBN 90.5773.289.0, Utrecht

BIJLAGE 2 HELOFYTFILTERS

Zie diversen

BIJLAGE 3 BEZINKBAK/-VIJVER

76. Pitt, R. en J. Voorhees (2002), "The Design and Use of Detention Facilities for Stormwater Management Using DETPOND"

77. Boogaard, F.C (2005), Omgaan met regenwater in Amsterdam, Amsterdam
78. Boogaard, F.C (2005), Monitoring bezinkvijver Limmen, Amsterdam
79. Stichting RIONED (1999), 'Even laten bezinken', Rioned informatief nr.11
80. Winterwijk, website juni 2006, [http://www.winterswijk.nl/gwi/brein/webgen.nsf/\(Publ+paginas+op+Unid\)/7F7D49B0454EC911C1256F35004DB057?OpenDocument&ua=1](http://www.winterswijk.nl/gwi/brein/webgen.nsf/(Publ+paginas+op+Unid)/7F7D49B0454EC911C1256F35004DB057?OpenDocument&ua=1)
81. Koster, A, Monitoringsplan Life project Waterwint te Winterswijk, 2003
82. Oortwijn, R, 'Woonwijk in een waterwingebied', Neerslag Magazine, 2006/1
83. Bewonersvereniging EVA Lanxmeer. Website. Mei 2006. <http://www.bel-lanxmeer.nl/>
84. Stormwater, "Design Criteria for Stormwater Systems"
85. Center for Watershed Protection, 'Performance of Two Wet Ponds in the Piedmont of North Carolina', s.a. Article 73, 18
86. Center for Watershed Protection, 'Performance of Stormwater Ponds in Central Texas', s.a. Article 74, 20-21
87. German, J., Ponds for stormwater treatment, Goteborg, 2002

BIJLAGE 4 BODEMPASSAGE

88. Boogaard, F.C., Mossevelde van, T, Schipper, P.N.M. (2005), Kwaliteitsaspecten infiltreren stedelijk water beter bekeken, Stowa, rapportnummer 2005-23, Utrecht
89. Boogaard F.C., Lemmen, Database regenwaterkwaliteit, Amsterdam: Stowa, 2005
90. Taakgroep watersysteem Leidsche Rijn (2003), Voorbereiding praktijkonderzoek verticaal doorstromend helofytenveld, Royal Haskoning
91. Verheul, H.J. (2002), , Monitoringsonderzoek Intergraal Waterbeheer De Vliert, Royal Haskoning: 's Hertogenbosch
92. Gemeente Utrecht, Leren van beheren

BIJLAGE 5 DOORLATENDE VERHARDING

93. Rus, M.A. (2004), Doorlatende verharding- Proefvakken op parkeerplaats bij noodschool 3T, resultaten van 1 jaar monitoring, Dienst stadswerk, Almere
94. Environmental Protection Agency. Website. Mei 2006. <http://www.epa.gov>
95. Newman, A.P, Pratt, Coupe, Creswell, Oil bio-degradation in permeable pavements by microbial communities, The Manchester Metropolitan University
96. Schlüter, W, Jefferies, Monitoring the outflow from a porous car park, University of Aberty Dundee en Urban Water technology center
97. Coupe, S.J, Lowe, Smith, Eastwood (2005), The effects of Nutrients on the biodegradation of used and unused oil in permeable pavement systems, Coventry University en Manchester Metropolitan University

DIVERSEN

98. Rombout, J., Lamellenseparatoren (2006), De werking en het zuiveringsrendement van lamellen-separatoren bij afstromend regenwater, afstudeerrapport universiteit Twente, Alphen aan den Rijn
99. Taakgroep watersysteem Leidsche Rijn (2003), Voorbereiding praktijkonderzoek verticaal doorstro-mend helofytenveld, Royal Haskoning
100. Wallace, Scott, The wetland wastewater alternative, Water 21, februari 2007
101. Loots, F, Regenwater afkoppelen in Zeeland, Utrecht: Universiteit Utrecht, 2004
102. Rioned, Detaillering en aanleg van stelselonderdelen B3000
103. De Waterharmonica, Stowa-rapport 2005-18
104. Dijk van, J, Helofytenfilter Erasmusgracht, DWR, 1997
105. Wieten, M, 'Zuiveren met helofyten in Amsterdam'. Neerslag magazine, 6 (2004)
106. Zuiveringsfilter Leidsche rijn. Website. Mei 2006. <http://www.zuiveringsfilter.nl>
107. Gemeente Arnhem, Waterplan Arnhem, 2003
108. Center for Watershed Protection, 'Nutrient Dynamics and Plant Diversity in Volunteer and Planted Stormwater Wetlands', s.a. Article 89, 5
109. U.S. Environmental Protection Agency Office of Wetlands, Oceans and Watersheds
Wetlands Division ,Natural wetlands and urban stormwater potential impacts and
management, Washington D.C.,1993
110. Waterharmonica 'de natuurlijke schakel tussen waterketen en watersysteem, Stowa 2005-18
111. Velthorst, H (2007), Kosteneffectieve reductie emissie gescheiden rioolstelsels in Arnhem, Arnhem
112. Vrieswijk, S (2006), Schoon genoeg van regenwater: Praktijkervaringen met zuiverende voorzieningen voor de behandeling van afstromend regenwater in binnen- en buitenland, Aquifer BV, Deventer
113. Rijdsdijk, M. (2006), Presentatie, Waterdoorlatende verharding in Utrecht, Utrecht

BIJLAGE 1

LAMELLENSEPARATOREN

PROCESSEN IN DE LAMELLENSEPARATOR

De vuilreducerende werking van de lamellenafscheider berust op het bezinken en opdrijven van niet opgeloste stoffen. Om het bezinken en opdrijven te bevorderen/stimuleren worden de lamellen gebruikt. Deze zorgen voor een laminaire stroming. In de lamellen zullen de aanwezige stoffen bezinken en opdrijven. Hierbij kunnen de volgende processen optreden:

- Coalescentie
- (Fysische) coagulatie/flocculatie

In deze paragraaf zullen de volgende onderwerpen worden beschreven die bijdragen aan het zuiveringsproces in een lamellenseparator:

- Bezinking en opdrijving
- Laminaire stroming (Reynolds)
- Coagulatie, flocculatie en coalescentie

BEZINKING EN OPDRIJVING

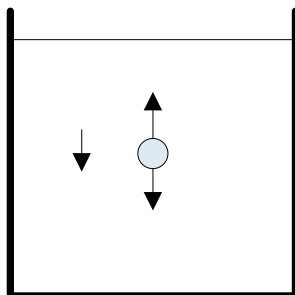
Theorie [58]

De theoretische achtergrond van bezinking en opdrijving is identiek. Daarom zal er wanneer er wordt gesproken over bezinking, hetzelfde gelden voor opdrijven alleen dan omgekeerd. De voerende vloeistof kan water, olie of een andere chemische vloeistof, vet e.d. zijn. Bij lamellenseparatoren gaat het uitsluitend om water.

Wanneer een vast deeltje wordt losgelaten in stilstaand water, zal het gaan bewegen. De beweging is verticaal naar boven wanneer de dichtheid van het deeltje lager is dan die van de omringende vloeistof. Het deeltje zal naar beneden bewegen wanneer de dichtheid van het deeltje groter is.

De snelheid van het deeltje zal stabiliseren wanneer de zwaarte kracht (oprijvende kracht voor een deeltje lichter dan water) de wrijvingskrachten evenaart (figuur 10.1).

FIGUUR 10.9.1 BEWEGING VAN EEN ZINKEND DEELTJE IN WATER [58]



De zwaarte kracht F_i is gelijk aan het ondergedompelde gewicht van het deeltje:

$$F_i = g(\rho_d - \rho_w)V \quad (1)$$

ρ_w = soortelijke massa van water = $1,00 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

ρ_d = soortelijke massa van het deeltje ($10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

g = gravitatieversnelling = $9,81 \text{ m/s}^2$

V = Volume van het deeltje (m^3)

Volgens de wet van Newton is de wrijving gelijk aan:

$$F_d = C_d * \frac{\rho_w * v_s^2}{2} * A \quad (2)$$

C_d = Wrijvingscoëfficiënt (-)

v_s = Snelheid van het deeltje (m/s^1)

A = het gebied rond het deeltje in de richting van de beweging (m^2)

Bij een constante snelheid is $\sum F = 0$ of $F_i = F_d$ (3)

Uit vergelijking 3 volgt:

$$v_s = \sqrt{\frac{2}{C_d} * \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} * g * \frac{V}{A}} \quad (4)$$

De wrijvingscoëfficiënt is afhankelijk van de stroming direct rond het deeltje.

Bij de lamellenseparatoren is alleen de laminaire stroming van belang. Als dan de waarde van de wrijvingscoëfficiënt wordt ingevoerd is de valsnelheid, voor bolvormige deeltjes, met de volgende formule van Stokes [41] te bepalen:

$$v_s = \frac{D^2 * (\rho_w - \rho_d) * g}{18 * \eta} \quad (5)$$

Waarin:

D = diameter druppel/deeltje.

η = dynamische viscositeit van de vloeistof, water = $1,00 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$

Zoals uit de wet van Stokes blijkt, is vooral de grootte van het af te vangen deeltje van belang voor de snelheid waarmee het bezinkt/opstijgt (kwadratische functie). Ook het soortelijke gewicht van de af te scheiden vaste stof heeft invloed. Hoe groter het verschil tussen het soortelijke gewicht van het af te scheiden deeltje met dat van water, hoe eenvoudiger de afscheiding zal gaan [59]. De formule van Stokes is alleen van toepassing op bolvormige deeltjes bij een laminaire stroming.

Andere factoren die de valsnelheid beïnvloeden zijn:

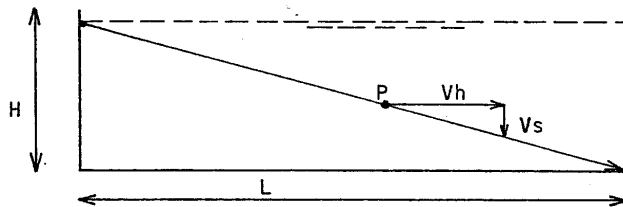
- Clustereigenschappen van deeltjes (coalescentie, coagulatie en flocculatie)
- Hydrofoob (olie) en hydrofiel (slib) gedrag van delen

Theorie van bezinking in een bezinkbak [58]

Een deeltje met een bezinksnelheid (V_s) komt in een bezinkbak terecht met de dimensies lengte (L), breedte (B) en hoogte (H) en een debiet (Q). L, B en H zijn in meters en Q in m³/s.

Wanneer het deeltje gescheiden moet worden van het water, moet het de bodem van de bezinkbak halen voor het einde van de bak. De minimale bezinksnelheid voor een deeltje kan berekend worden, zodat het deeltje nog gescheiden wordt van het water (zie Figuur 9.2).

FIGUUR 9.2 DE WEG VAN HET DEELTJE WELKE BEZINKT, SCHEMATISCH WEERGAVE



De horizontale water snelheid is:

$$v_h = \frac{Q}{H * B} \quad (6)$$

De relatie tussen v_h en v_s is:

$$\frac{v_h}{v_s} = \frac{L}{H} \quad (7)$$

Als de vergelijkingen (6) en (7) worden gecombineerd kan de valsnelheid (v_s) worden berekend:

$$v_s = \frac{Q}{L * B} = \frac{Q}{A} \quad (8)$$

Dit is de minimaal benodigde valsnelheid om een deeltje te laten bezinken. Naast de term v_s wordt ook de term S_o (oppervlaktebelasting) gebruikt. In de literatuur komt de volgende formule veelvuldig voor om het bezinkoppervlak van een bergbezinkbassin te berekenen.

$$A = \frac{Q}{S_o} \quad (9)$$

De oppervlaktebelasting kan gezien worden als het volume water waarmee het horizontale tankoppervlak (het bezinkoppervlak van de bodem = A) per tijdseenheid wordt belast. De oppervlaktebelasting is ook te schrijven als functie van de valhoogte (H) en het volume (V):

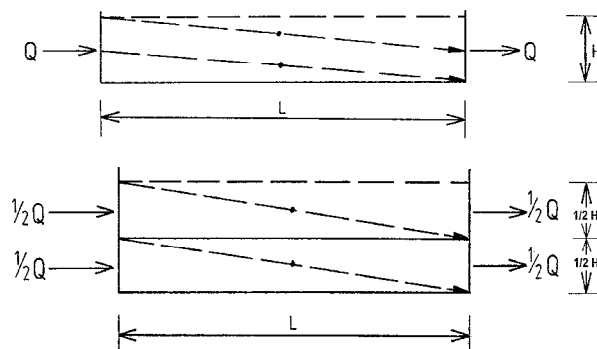
$$S_o = \frac{Q * H}{V} \quad (10)$$

Waaruit volgt dat als door lamellen de valhoogte afneemt (of het bezinkoppervlak toeneemt) de oppervlaktebelasting evenredig afneemt.

Een verdubbeling van het bezinkoppervlak, leidt tot een halvering van de oppervlaktebelasting en kan daarmee tot een verdubbeling van het bezinkrendement leiden. Op dit principe zijn de lamellenseparatoren gebouwd. De lamellen zorgen voor een groot oppervlak (Figuur 9.3) en daarnaast ook nog voor een kleinere valafstand en een laminaire stroming.

FIGUUR 9.3

EFFECT LAMELLEN IN EEN BEZINKBAK



STROMING

Het water stroomt, voordat het door het lamellenpakket stroomt, turbulent. De stoffen in het water hebben dan geen tijd om te bezinken of te stijgen. Hierdoor zal bij een lozing veel vuil het oppervlaktewater bereiken. Om het bezinken/stijgen te bevorderen zal het water laminair moeten stromen. Hiervoor zorgt het lamellenpakket. Het water wordt door het pakket geleid zodat het “tot rust komt”. Het getal van Reynolds geeft aan met wat voor een stroming men te maken heeft.

Het getal van Reynolds is een dimensieloos getal uit de vloeistofdynamica. Het wordt bij de lamellen gebruikt om te bepalen of een stroming laminair is of turbulent.

Het Reynolds getal is vernoemd naar Osbourne Reynolds (1842-1912), en luidt [58]:

$$R_e = \frac{\rho * v * L}{\eta} \quad (11)$$

Waarbij:

Re = Getal van Reynolds [-]

ρ = Soortelijke massa van de vloeistof [kg/m³]

v = Doorsnede-gemiddelde stroomsnelheid [m/s¹]

L = Karakteristieke lengte (= diameter in het geval van een cilinder of buis). Deze lengte van de lamellenpakketten ligt tussen de 0,6 en 1,2 m en de diameter tussen de 0,006 en 0,012 m [m]

η = Dynamische viscositeit [Pa*s]

Laminaire stroming zal optreden wanneer $Re < 2000$. Turbulente stroming zal optreden wanneer $Re > 4000$. Tussen deze waarden zijn beide stroomtype mogelijk. Voor het getal van Reynolds is geen eenduidige waarde te geven, aangezien het ontwerp specifiek is per locatie. Eén producent geeft aan dat de Reynolds waarde < 200 is. Het gaat om lage waarden aangezien de diameter van de lamellen (de afstand tussen de platen of diameter van de honinggraat-buisjes) gering is, gemiddeld 10 mm.

De stroming dient naast laminair ook uniform te zijn. Dit wil zeggen dat de stroming gelijkmatig over de bak verdeeld moet worden. Als de stroming niet gelijkmatig wordt verdeeld ontstaat kortsluitstromingen wat het rendement van een voorziening kan verlagen. Dit kan voorkomen worden door o.a. een overstort muur te plaatsen bij de inlaat, stromingverdelers te plaatsen en de ruimtes tussen de lamellen en de put goed te dicht. Het Froudegetal geeft een indicatie van de kans op kortsluitstromingen. De waarde voor het Froudegetal moet

$1 \cdot 10^{-5}$ bedragen. Hierbij is er een stabiele stroming zonder turbulentie. Een hogere waarde geeft een stabielere stroming maar dan treedt er ook meer turbulentie op. In de lamellenseparator zal het Froudegetal onder de $1 \cdot 10^{-5}$ blijven in tijde van weinig neerslag en zal het de waarde van $4 \cdot 10^{-6}$ bedragen. Bij veel regen en bij een voorziening zonder debiet begrenzer zal het Froudegetal $1 \cdot 10^{-4}$ worden en hoger. Een lamellenseparator is maar een kleine voorziening waardoor er snel turbulentie optreedt wanneer al het regenwater toestroomt.

$$Fr = \frac{v^2}{g \cdot R} \quad (12)$$

Waarbij:

Fr = Froude getal [-]

v = Doorsnede-gemiddelde stroomsnelheid [m/s¹]

R = de hydraulische straal

g = gravitatieversnelling = 9,81 m*s²

Coalescentie en (fysische) coagulatie/flocculatie

Er spelen zich verschillende processen af, die naast laminaire en uniforme stroming zorgen voor een betere verwijdering van de verontreinigingen uit het afstromende regenwater.

Dit zijn:

- Coalescentie
- (Fysische) coagulatie/flocculatie

Het is in de praktijk niet aan te tonen of deze processen daadwerkelijk optreden, maar theoretisch kunnen deze processen plaatsvinden. In hoeverre dit tevens zorgt voor een beter rendement is dus onbekend.

COALESCENTIE

Coalescentie is het samenvloeien van oliedruppels, vaak geholpen door een contactoppervlak, tot druppels met een grotere omvang. De grotere oliedruppels stijgen sneller naar boven en nemen daarbij kleinere druppels mee en zo krijgt men een sneeuwbal effect. Deze druppels zullen uiteindelijk een drijfslag vormen in de separator en zo niet meegevoerd worden naar het oppervlaktewater. Deze laag zal gedurende het beheer weggehaald worden.

Coalescentie zal optreden wanneer de vloeistoffen een kleinere dichtheid hebben dan water en er een voldoende groot verschil in grootte is. De grotere druppels hebben een groter opdrijvend vermogen en zullen dus een grotere stijgsnelheid bezitten dan de kleinere die min of meer zullen blijven zweven. De grote druppels zullen door hun grotere stijgsnelheid de kleinere op hun weg invangen en daardoor verder aangroeien. Er zullen dus steeds grotere druppels kunnen ontstaan met een groter drijvend vermogen [60].

(FYSISCHE) COAGULATIE/FLOCCULATIE

Coagulatie en flocculatie is het proces waarbij kleine deeltjes aan elkaar koppelen tot grotere deeltjes en waarbij het relatieve percentage waterbinding minder wordt en dus de dichtheid groter wordt met een snellere bezinking als gevolg [61].

Verschil coagulatie-flocculatie

De begrippen coagulatie en flocculatie worden in de praktijk vaak door elkaar gebruikt. Het verwijderen van zwevend materiaal verloopt via twee na elkaar verloopende mechanismen: coagulatie en flocculatie. Coagulatie is het proces waarbij de electrostatische afstoting tussen colloïdale gesuspenderde deeltjes verdwijnt, of wordt verlaagd. Het colloïd wordt instabiel,

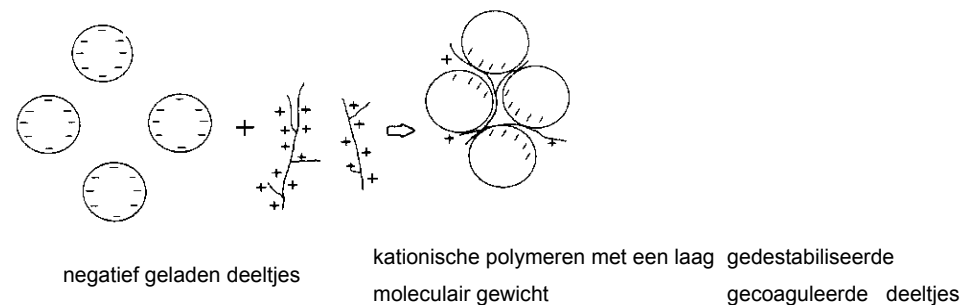
waardoor de deeltjes kunnen samenklonteren tot grotere deeltjes (zie Figuur 9.4). Dit ziet er uit als minuscuul kleine vlokjes, een soort nevel in water. Bij coagulatie groeien de deeltjes in korte tijd tot vlokken van circa 1 μm . Vanaf deze vlok grootte kunnen de deeltjes alleen nog maar groeien, zodat afscheiding uit het water mogelijk is. Dit proces wordt flocculatie (zie Figuur 9.5) genoemd en vindt plaats bij een langere verblijftijd en een lagere turbulentiegraad. De samengeklonterde deeltjes kunnen door *bezinking* of *flotatie* worden verwijderd [62]. Hierdoor ontstaat er een extra hoge slibproductie, wat ten goede komt aan het rendement [62].

Het verschil tussen coagulatie en flocculatie is dat er bij flocculatie geen chemische binding plaats vindt met polymeren, zoals te zien is in Figuur 9.5, maar dat deze uitsluitend aan elkaar koppelt aan het oppervlak van een polymeer (adsorptie)[61], het is dus een na elkaar verlopend proces.

Daarnaast is er een verschil in het tijdsbestek wanneer deze processen plaatsvinden. Coagulatie is een proces dat zich in zeer korte tijd afspeelt mits de mening zeer intensief is, dit is bij turbulente stroming. Flocculatie treedt daarentegen pas op bij een lange verblijftijd en er moet rustige (geen) stroming aanwezig zijn [64]. Flocculatie zal dus niet optreden in een turbulente stroming.

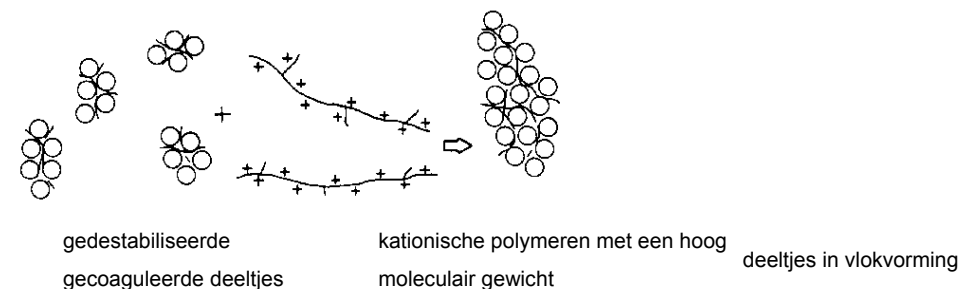
FIGUUR 9.4

COAGULATIE PROCES



FIGUUR 9.5

FLOCCULATIE PROCES



INTERNATIONAAL ONDERZOEK

In de literatuur is beperkt informatie te vinden over de resultaten van onderzoeken. Er wordt in veel artikelen wel verwezen naar lamellenseparatoren, alleen hierbij wordt meestal geen melding gemaakt van zuiveringsresultaten. Uit de artikelen kwam wel naar voren dat er in Frankrijk onderzoek gedaan is naar lamellenseparatoren.

In deze paragraaf zal een beperkt overzicht worden gegeven van ervaringen die in het buitenland zijn opgedaan met lamellenseparatoren of soortgelijke systemen, waarbij wel zuiveringsrendementen zijn gegeven.

FRANKRIJK

Franse studies hebben aangetoond dat het gemiddelde rendement, van de zwevende stoffen (suspended solids) van separatoren ongeveer 50% is [66]. De scheiding van olie van het water vereist een stijgsnelheid van ongeveer 8 m/uur, terwijl de snelheid voor vaste stoffen een snelheid van 1 tot 3 m/uur nodig is om te bezinken.

Wanneer de concentratie van olie in het afvalwater hoog is, stijgt de effectiviteit van de olie-removing. In Velizy, Frankrijk, vond Rupperd [67] dat olie/waterseparatoren, die waren voorzien van schuin geplaatste lamellen, een rendement hadden die zich van 0 tot 90% uitstrekte, met een gemiddelde van 47%. De lage effectiviteit kwam door lage influent (concentratie) stromingen en de grotere effectiviteit werd geassocieerd met hogere influent niveaus. Deze bevindingen steunen die van Tramier [68]. Hij verklaarde eerder dat de separatoren efficiënt zijn in het verwijderen van grote hoeveelheden olie wanneer de olieconcentraties worden verhoogd [69].

In een onderzoek van Daligaut et al.[70], is gekeken naar twee lamellenseparatoren, die zijn gelegen in de plaatsen Brunoy en Vigneux. Om een beeld te krijgen van de situatie, zal kort de oppervlakte van het afgekoppelde gebied beschreven worden en de ontwerp richtlijnen die zijn gehanteerd bij het dimensioneren van de voorzieningen.

Brunoy: de oppervlakte van het afgekoppelde gebied is 2.7 ha bestaande uit educatieve en sportieve infrastructures (55%), flatgebouwen (36%) en wegen (9%). Het afvoerend gebied is 1,4 ha. De separator is ontworpen om 210 l/s te ontvangen, dit is ongeveer de maximale toestroom met een frequentie van een maal in de tien jaar. De lamellen in het pakket hebben een onderlinge afstand van 19mm.

Vigneux: de oppervlakte van het afgekoppelde gebied is 105 ha bestaande uit laagbouw woningen (56%) , flatblokken (20%), winkels (3 %), industriële gebieden (8%), een park (4%) en wegen (9%). Twee opslagreservoirs verminderen het drainagegebied tot 77 ha met ongeveer een actief gebied van 20 ha. De separator is ontworpen om 560 l/s te ontvangen, dit komt overeen met een toestroom met een frequentie van eenmaal in de zes maanden. De afstand tussen de lamellen is 10mm.

Beide voorzieningen zijn uitgerust met een slibpomp, die het slib verwijderd uit de slibbuffer. De voorzieningen werden over een periode van meer dan één jaar gemonitord. De twee separatoren verschillen in hun ontwerp en in de kwantiteit en de kwaliteit van het ontvangen influent. Er is een volledige analyse gedaan van ongeveer 30 steekproeven van het influent en effluent. Hierdoor was het mogelijk een oordeel te geven van de gemiddelde effectiviteit (rendement) van de voorzieningen. Uit analyses van het slib was het mogelijk om de verontreinigende stoffen te kenmerken die in het slib werden vastgehouden [70].

Van een aantal van de gemeten stoffen is het zuiveringrendement bepaald. Het zuiveringsrendement van de zwevende stoffen (TSS) lag voor de voorziening in Brunoy tussen de 0 en 90 %, het gemiddelde rendement is hier bepaald op 54%. Naar mate de concentratie hoger was dan 300 mg/l werd er een betere zuivering gehaald (40-90%). Het zuiveringsrendement van de zwevende stoffen lag voor Vigneux tussen de 0 en 60 %, het gemiddelde rendement is hier bepaald op 30%.

De berekening van het verwijderingsrendement volgens grafieken van bezinksnelheden en het runoff debiet geeft een overschatting van de effectiviteit van de separatoren. Het verschil is een stuk groter bij snelheden lager dan V50 (is de snelheid waarbij 50 % van de deeltjes bezinkt).

De resultaten van het onderzoek zijn in

Tabel 9.1 weergegeven. Het verwijderingsrendement voor zware metalen ligt tussen de 24 en 45%. Voor de waarnemingen voor zink in Brunoy, zijn naar alle waarschijnlijkheid sedimenten waaraan zink gebonden zat en, die waren bezonken, weer opgenomen door het uitstromende water, vandaar de toename in zink. De reden waarom zink wel en de andere zware metalen niet vrijkomen, wordt niet gegeven in het onderzoek. De reden zou kunnen zijn dat zink aan de kleine deeltjes gebonden zit, die een lage bezinksnelheid hebben, waardoor ze snel mee stromen met het water.

Het BZV₅ zuiveringrendement is in Brunoy 31% en 28% in Vigneux. Het verwijderingsrendement gedurende intensieve regenbuien, wanneer de gemiddelde concentratie de 20 mg/l overschrijdt, loopt van 25% tot 67% in Brunoy en tot 46% in Vigneux. In het onderzoek is niet gekeken naar het rendement bij lagere concentraties.

Tot slot het zuiveringsrendement van koolwaterstoffen. In Brunoy was het gemiddelde zuiveringsrendement 26%. In Vigneux is het gemiddelde zuiveringsrendement 37%, en is het rendement tussen de 40% en 80%, wanneer de concentraties 5 mg/l overschrijden. Bij een lagere concentratie neemt het zuiveringsrendement dus af.

TABEL 9.1

RESULTATEN ONDERZOEK DALIGAUT ET AL. [70]

	Eenheid	Brunoy	Vigneux
Afgekoppeld gebied	ha	1,4	20
Ontwerp debiet	l/s	210	560
Afstand lamellen	mm	19	10
Gemiddeld verwijderingsrendement			
Total suspendid solids, TSS	%	54	30
Cd	%	24	26
Cr	%	-	45
Cu	%	40	29
Pb	%	44	28
Zn	%	-38	27
BZV ₅	%	31	28
BZV ₅ overschrijding 20 mg/l	%	25-67	46
Koolwaterstoffen	%	26	37
Koolwaterstoffen overschrijding 5 mg/l	%	-	40-80

Uit het onderzoek kwam ook naar voren dat wanneer er relatief groot materiaal in het water meedrijft er een belemmering voor de lamellen plaats vindt. De lamellen raken dan verstopt door verontreinigingen zoals plantenresten. De voorzieningen dienen dus makkelijk toegankelijk te zijn voor het beheer [70].

In Brunoy is er sprake van andere concentraties dan in Vigneux. De concentraties van het influent en effluent laten wel een afname zien. Voor de Nederlandse situatie kan er ook vanuit worden gegaan dat de voorzieningen zorgen voor een reductie in de concentratie, alleen is er niet bekend met welke percentages.

AMERIKA

In Amerika heeft men voornamelijk ervaring met olie-afscidders met coalescentie filters erin en gebruikt men sinds een paar jaar afscidders voor regenwater. De fabrikanten verklaren dat de effectiviteit die tijdens het testen van olie/waterseparatoren werden waargenomen in de orde van 97 - 99% zijn [69]. Er is echter weinig gepubliceerd over onderzoeken die zijn gedaan in de praktijk.

De "staat" Washington heeft een overzicht laten maken van 109 separatorbakken in de voorsteden van Maryland. 17 daarvan zijn in detail onderzocht om hun doeltreffendheid op lange termijn te bepalen. Deze separatoren werden gebruikt voor het controleren van gebieden die aangesloten waren op parkeerterreinen en wegen. Deze separatoren waren of prefab of ter plaatse gestort, de betonconstructies bestaan uit één, twee of drie kamers. De resultaten van deze studie openbaarden dat de hoeveelheid opgesloten sedimenten binnen de separatoren van maand tot maand varieerde en dat het water dat in de separatoren zat volledig werd verplaatst (vervangen), zelfs tijdens buien van geringe omvang.

Van de originele 109 separatoren die in het onderzoek werden betrokken, waren de systemen die minder dan één jaar oud waren effectief in het vasthouden van sedimenten. De systemen ouder dan één jaar schenen net zoveel sedimenten vast te houden als dat zij verloren. Geen één van deze voorzieningen heeft onderhoud (verwijderen bezonken slib) gehad sinds de installatie.

OVERIG ONDERZOEK

Verschillende fabrikanten hebben kleine geprefabriceerde separatoren ontwikkeld om oliën en vaste stoffen uit hemelwater te verwijderen. Deze separatoren worden zelden specifiek ontworpen voor regenwater toevoeren, maar bestaan uit gewijzigde olie/waterseparators. Veel van deze separatoren zijn geïnstalleerd in Frankrijk, vooral langs wegen. Ondanks het aantal installaties zijn er maar een beperkt aantal studies uitgevoerd om hun efficiency te beoordelen.

Het gebruik van olie/waterseparatoren om regenwater te behandelen is niet doeltreffend om diverse redenen. Vooral het gebrek aan onderhoud en een slecht ontwerp voor de vrij lage concentraties van oliën die aanwezig zijn in het meeste regenwater. De resultaten van de onderzoeken naar regenwaterbehandeling tests van Fourage [71], Rupperd [67] en Legrand et al [72] tonen aan dat deze separatoren gewoonlijk te klein zijn. Deze onderzoekers hebben geconstateerd dat de schoonmaak frequenties zeer ontoereikend zijn en de verbetering (rendementen) van het effluent bij het gebruiken van olie/waterseparatoren zijn zeer beperkt. De separatoren zijn vooral bedoeld om zeer grote concentraties van drijvende oliën te verminderen die in industrieel afvalwater aanwezig kunnen zijn. Deze zeer hoge concentraties van oliën zijn zeer zeldzaam in regenwater, zelfs voor kritieke brongebieden (wegen, parkeerplaatsen, rangeerterreinen) [69]. Door het aanpassen van het ontwerp en de schoonmaak frequentie kan ervoor zorgen dat de voorzieningen doeltreffend zijn.

CONCLUSIE

Naast de rendementen die te behalen zijn, is uit de wetenschappelijke artikelen ook een aantal factoren aan te wijzen die het rendement beïnvloeden.

In de studie van Daligaut et al. [70] kwam naar voren dat de "vuilvracht", bij zwevende stof en koolwaterstoffen, een factor is die het rendement beïnvloedt (dit bleek ook uit andere onderzoek van Rupperd [67], p 38). Bij een toenemende concentratie aan stoffen in het water,

zorgen de lamellen voor een toename van het rendement. Dit is zowel het geval bij de bezinkbare als bij de opdrijvende stoffen.

Naast de concentratie stoffen komt ook naar voren dat het onderhoud en beheer, een grote rol speelt bij het zuiverende effect van separatoren. Als er grote delen in de separator komen, kunnen de lamellen verstopt raken en niet meer voldoende functioneren. Daarnaast dient het slib in de separatoren tijdig verwijderd te worden. Als het slib niet vaak genoeg verwijderd wordt, is de kans groot dat er bij een hevige regenbui (groter dan het ontwerp debiet) het opgeslagen slib wordt opgewoeld en meespoelt naar buiten (dit is afhankelijk van het ontwerp).

WRW: AANVULLING OP § 5.7 VAN DE BESLISBOOM AAN- EN AFKOPPELEN

‘ontwerp bezinkvoorzieningen voor regenwaterafvoer’

Aan: gemeenten, advies bureaus en leveranciers

Van: Werkgroep Riolering West-Nederland

Datum: 28 januari 2005

INLEIDING

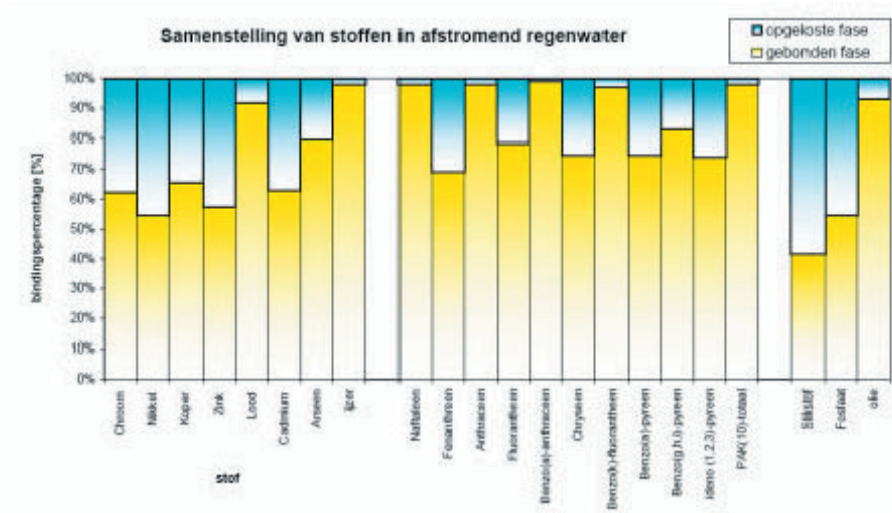
In de nieuwe “Beslisboom aan- en afkoppelen verharde oppervlakken” (WRW, 2003) blijkt dat met de huidige stand der techniek een groot deel van het verharde oppervlak afgekoppeld kan worden van het rioolstelsel, c.q. niet hoeft te worden aangesloten. Wel dient afkoppelen in een groot deel van de gevallen plaats te vinden via een voorziening waarmee verontreinigingen uit het afstromende hemelwater kan worden verwijderd. Een groot deel van die voorzieningen zijn gebaseerd op de bezinking van onopgeloste stoffen. Deze notitie geeft een nadere handreiking voor het ontwerp van bezinkvoorzieningen (in het bijzonder lamellenafscheiders) voor regenwaterafvoer. Tevens is dit een correctie van wat vermeld staat in paragraaf 5.7.2 van de beslisboom over de dimensionering van olieafscheider en slibvangputten op basis van de NEN 7089. Deze NEN-norm is namelijk niet toepasbaar voor hemelwaterafvoer. Opgemerkt wordt dat de beslisboom en deze aanvulling daarop zijn bedoeld als handreiking bij het ontwerp en niet als harde ontwerpnormen. Het gezonde verstand van de adviseur, leverancier en de uiteindelijke gebruiker blijven onmisbaar.

TOEPASSING BIJ AFKOPPELEN

Probleemstoffen in afstromend hemelwater afkomstig van (matig) verontreinigde oppervlakken, zoals straten, wegen en parkeerplaatsen zijn vooral zware metalen en PAK. Deze verontreinigingen zijn voor een groot deel gebonden aan onopgeloste slibdeeltjes (WRW, 2002, zie figuur 1). Voor zover oliën en vetten in het afstromend regenwater voorkomen zijn deze ook voornamelijk gebonden aan vaste delen. Om deze verontreinigingen te verwijderen kunnen bezinkvoorzieningen worden toegepast.

FIGUUR 1

BINDING VAN VERONTREINIGINGEN IN AFSTROMEND REGENWATER AAN DEELTJES (WRW, 2002)



ONTWERP BIJ AFKOPPELEN

Om voldoende bezinking te krijgen moeten de deeltjes de mogelijkheid hebben om te bezinken. Dit houdt in dat de verhouding tussen het debiet ten opzichte van het effectieve bezinkoppervlak, de oppervlaktebelasting ($S_o = Q/A$) kleiner of gelijk is aan de valsnelheid ($S_o = < v$). Helaas hebben niet alle deeltjes dezelfde valsnelheid. Deze is voor een deel afhankelijk van de grootte en het soortelijk gewicht per deeltje, zoals beschreven in de formule van Stokes:

$$v_s = \frac{D^2 * (\rho_w - \rho_d) * g}{18 * \eta} \quad (5)$$

Waarin:

D = diameter druppel/deeltje.

η = dynamische viscositeit van de vloeistof, water = $1,00 * 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

ρ_w = soortelijke massa van water = $1,00 * 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

ρ_d = soortelijke massa van het deeltje ($10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

g = gravitatieversnelling = $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

Daarnaast wordt de valsnelheid van deeltjes beïnvloed door:

- Clustereigenschappen van deeltjes (coalescentie, coagulatie en flocculatie)
- Hydrofoob (olie) en hydrofiel (slib) gedrag van deeltjes en
- De Brownse beweging

Tenslotte gelden de gebruikelijke ontwerprichtlijnen voor bezinkvoorzieningen, met rendementsbepalende parameters als stroomsnelheid, Reynoldsgetal, Froudegetal, schuifspanning en verblijftijd. Op deze aspecten zal echter niet verder worden ingegaan, maar wordt verwezen naar de Leidraad Rioleringsmodules B2000 en B2100.

OPPERVLAKTEBELASTING

Er wordt algemeen aangenomen dat de meeste verontreinigingen in hemelwater zijn gebonden aan deeltjes met een diameter van $50 - 300 \mu\text{m}$. Ook aan kleinere deeltjes ($< 50 \mu\text{m}$) kunnen echter verontreinigingen gebonden zijn (bijvoorbeeld lutum-deeltjes). De bezinking van deze kleinere deeltjes wordt echter verstoord door hydrofiel gedrag en door de Brownse beweging. Deze deeltjes kunnen slechts door clusterende eigenschappen als coalescentie, coagulatie en flocculatie tot goede bezinking komen. Voorzieningen die deze clusterende

eigenschappen stimuleren hebben daarom de voorkeur. Voor mineralen in Nederland kan worden uitgegaan van een soortelijk gewicht van $2600 - 2750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ en voor organische stof van $1400 - 1550 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (W.P. Locher en H. de Bakker, 1992). Uitgaande van de formule van Stokes ligt de valsnelheid voor deeltjes met een grootte van $50 \mu\text{m}$ tussen 2 en 9 m/h.

Op basis van bovenstaande overwegingen wordt geadviseerd om (in tegenstelling tot het advies uit de Leidraad Riolerings) voorlopig uit te gaan van een veilige waarde voor de oppervlaktebelasting, namelijk $S_o = 1 \text{ m/h}$. Dit uitgangspunt is tevens gebaseerd op de praktische haalbaarheid van de huidige technieken. Op basis van resultaten uit praktijkonderzoek kan op termijn worden bepaald in hoeverre bijstelling van deze ontwerpnorm noodzakelijk is.

ONTWERPDEBIET

Aangezien de intensiteit van regenbuien erg kan variëren is het in de praktijk niet mogelijk een bezinkvoorziening aan te leggen waarbij in alle gevallen aan de ontwerpdebiets wordt voldaan. Daarom wordt de voorziening ontworpen op basis een ontwerpdebiets van $Q = 14 \text{ l/s/ha}$. Met andere woorden bij een maatgevend debiet van 14 l/s/ha wordt nog voldaan aan de ontwerpdebiets van $S_o = 1 \text{ m/h}$. Wordt dit debiet overschreden dan neemt oppervlaktebelasting toe en zal het rendement afnemen doordat er minder deeltjes tot bezinking komen. Op basis van de regenreeks van De Bilt 1955-1979 komt dit erop neer ca. 90% van het jaargemiddelde volume afstromende regenwater bij behandeling in de bezinkvoorziening voldoende afscheiding van de verontreinigingen optreedt. Voorwaarde is echter wel dat de debieten door de bezinkvoorziening niet dusdanig hoog zijn dat het bezonken slib weer kan worden opgewerveld. Dit kan worden bereikt door het toepassen van een debietsbepalende voorziening (bijvoorbeeld een vlotterdebietsbegrenzer) in combinatie met een bypass, c.q. overloopconstructie die in werking treedt bij hoge debieten.

BERGING IN HET STELSEL

Indien de berging in het hemelwaterstelsel wordt benut voor een gelijkmatigere aanvoer kan met stippengrafieken en/of regenreeksen bepaald worden hoe veel kleiner de bezinkvoorziening kan zijn terwijl deze toch voldoet voor 90% behandeling van het afstromende regenwater.

SLIBOPSLAG IN DE AFSCHIEDERS VOOR REGENWATER

Voor de benodigde slibopvangruimte kan uitgegaan worden van praktijkgegevens. Deze verschillen echter sterk per hemelwaterstelsel. De hoeveelheden onopgeloste stof in het afstromende regenwater van verhard oppervlak is namelijk afhankelijk van het gebruik van het oppervlak en omgevingsfactoren. Uit onderzoek van de NWRW (NWRW, 1989) zijn in gescheiden rioolstelsels in Amsterdam en Heerhugowaard concentraties droge stof gemeten van gemiddeld 30 mg/l . Op basis van dit gemiddelde kan voor het bepalen van de grootte van de slibopslag worden uitgegaan van een gemiddelde slibvracht van ca. 200 kg/ha per jaar. Uitgaande een drogestofgehalte van het slib van 10% (aannee vanuit de praktijk) kan het jaarlijkse slibvolume gesteld worden op ca. 2000 l/ha . Nogmaals dient echter te worden opgemerkt dat de hoeveelheid slib sterk kan variëren per rioolstelsel en per hemelwateruitlaat. De afgescheiden vuilmassa dient tussen de verwijderingen opgeslagen te kunnen worden in een stromingsluwe ruimte in de afscheider. Voor zandvang wordt in de ontwerprijchlijnen gesteld dat de zandmassa maximaal 50% van de vrije doorstroomruimte mag beslaan. Voor de relatief lichte slibdelen is een grotere vrije doorstroomruimte aanbevolen om opwoeling te voorkomen. Een ruime slibopvang is tevens belangrijk voor het bereiken van een goede gelijkmatige doorstroming door de voorziening om bezinking van het slib mogelijk te maken en opwoeling te voorkomen. Hiervoor geven het Reynoldsgetal en Froudegetal een goede indicatie.

GROFVUIJL

Rekening moet worden gehouden met grove vuildelen welke met afstromend regenwater kunnen worden meegevoerd naar de behandelingsvoorziening.

BEHEERSASPECTEN

Belangrijk voor zowel beheer als voor de blijvende rendementen van de voorzieningen is regelmatige verwijdering van afgescheiden verontreinigingen. De onderdelen van de voorzieningen dienen redelijk eenvoudig bereikbaar te zijn voor inspectie en onderhoud. Daarnaast kan gedacht worden aan regelmatig straatvegen en kolkenzuigen.

TOEPASSING LAMELLENAFSCHEIDERS VOOR REGENWATERAFVOER

Lamellenafscheiders zijn voorzieningen waarmee verontreinigingen in water kunnen worden verwijderd door middel van bezinking en opdrijving. In principe is de werking van deze voorzieningen te vergelijken met de werking van olie-afscheiders en (berg)bezinkvoorzieningen. In deze voorzieningen wordt het effectieve bezinkoppervlak c.q. opdrijfoppervlak echter vergroot door toepassing van lamellen. Daarnaast bevorderen de lamellen laminaire stroming (Reynoldsgetallen $Re < 2000$). Zodra de verontreinigingen met de lamellen in contact komen worden ze via deze lamellen naar boven of naar beneden afgevoerd (afhankelijk van het soortelijk gewicht t.o.v. van water en schuifspanning). Het water stroomt door de lamellenpakketten heen en komt gezuiverd uit de afscheider op het oppervlaktewater.

TOEPASSING BERGBEZINKBASSINS VOOR REGENWATERAFVOER

Een bergbezinkbassin is een ondergronds bassin met een interne en externe overstortdrempe, die gedurende een regenbui gelijkmatig wordt doorstroomt. In het bassin treedt hierdoor bezinking op. Bovenstaande uitgangspunten ($S_o = 1$ m/h en $Q = 14$ l/s/ha) kunnen worden gebruikt voor het globale ontwerp van het effectieve bezinkoppervlak en bepaling van het maatgevende debiet van een bergbezinkbassin voor regenwaterafvoer. Voor de verdere dimensionering wordt verwezen naar de Leidraad Riolering B2000/B2100 en het Stowa-rapport "Het ontwerp van optimaal functionerende bergbezinkbassins" (Kluck, 1997).

LITERATUUR

1. Faber, W.A. e.a., "Leidraad Riolering", Min. van VROM en Stichting Rioned, Samsom H.D. Tjeenk Willink, Alphen a/d Rijn, 1992
2. Kluck, J., "Het ontwerp van optimaal functionerende bergbezinkbassins", Stowa, 1997.
3. Kluck, J., "Geen onmogelijke eisen stellen aan afkoppelen", Vakblad Riolering, Holapress, 2004
4. Locher, W.P en H de Bakker, "Bodemkunde van Nederland", Malmberg, Den Bosch, 1992
5. WRW, "Overzicht samenstelling afstromend regenwater", Tauw i.o.v. WRW, 2002
6. WRW, "Beslisboom aan- en afkoppelen verharde oppervlakken", Tauw i.o.v. WRW, 2003.
7. NWRW, "Eindrapportage en evaluatie van het onderzoek 1982-1989" NWRW, 1989.

REKENVOORBEELD

In een nieuwe woonwijk wordt gedacht aan het toepassen van lamellenafscheiders voor de zuivering van afstromend regenwater afkomstig 2,5 ha straatoppervlak (matig verontreinigd). De gemeente zuigt de straatkolken met een frequentie van 2 maal per jaar. Het leegzuigen van de lamellenafscheiders worden hierin meegenomen. Het *maximaal ontwerpdebiet* door de afscheider bedraagt:

$$Q = 2,5 \text{ ha} * 14 \text{ l/s/ha} = 35 \text{ l/s} \text{ (} 126 \text{ m}^3\text{/h)}$$

Hogere debieten worden voorkomen door het toepassen van een debietsbegrenser en een bypass.

Het effectieve bezinkoppervlak van de lamellen bedraagt:

$$A = Q/S_o = 144 \text{ m}^3/\text{h} / 1 \text{ m}/\text{h} = 144 \text{ m}^2$$

Voor een verhard oppervlak van 2,5 ha dient de afscheider te beschikken over een minimaal slibopslagvolume van:

$$2.5 \text{ (ha)} * 2000 \text{ (l/ha)} * 100/50 \text{ (maximale vullingsgraad slib)} * 0.5 \text{ (reinigingsfrequentie)} = 5000 \text{ liter.}$$

BIJLAGE 2

HELOFYTENFILTER

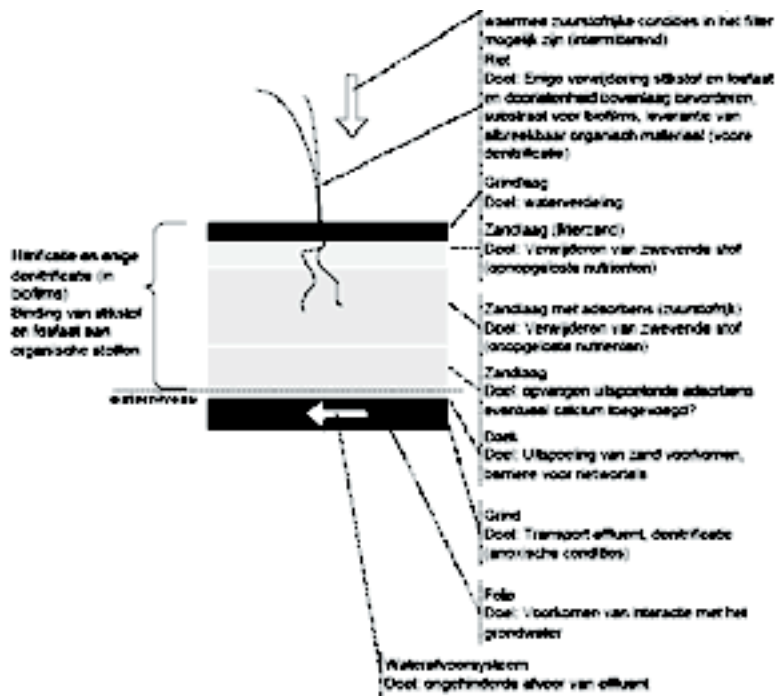
PROCESSEN [99]

Bij de verwijdering van nutriënten met helofytenfilters kan een vijftal mechanismen worden geïdentificeerd:

1. vastlegging in riet: enige stikstof en fosfaat
2. vastlegging in organische biomassa: enige stikstof en fosfaat
3. adsorptie en chemische binding: (ortho-)fosfaat
4. bacteriële omzetting: stikstof
5. Filtratie: zwevende stof gebonden stikstof en fosfaat

Het eerste mechanisme (vastlegging in riet) is bij de gangbare oppervlaktebelasting en fosfaatgehalten van beperkte invloed op de fosfaatverwijdering. De vastlegging van nutriënten in organische biomassa is slechts een tijdelijke verwijdering. Dit mechanisme is bij waterstromen met een laag organische stofgehalte, zoals oppervlaktewater, waarschijnlijk van veel minder gewicht dan bij afvalwater. De drie resterende mechanismen (adsorptie/chemische binding van ortho-fosfaat, bacteriële omzetting van stikstof en filtratie van aan zwevende stof gebonden nutriënten) hebben een grotere en (mogelijk) blijvende verwijderingscapaciteit voor nutriënten. In Nederland is enige ervaring opgedaan met behandeling van oppervlaktewater en rwzi-effluent met een verticaal doorstroomd helofytenfilter.

De algemene opbouw en een korte aanduiding van de onderliggende mechanismen is weergegeven in onderstaand figuur.



Verwijderingsmechanismen voor nutriënten

1. Vastlegging in riet

Bij de groei van riet wordt stikstof en fosfaat opgenomen. Vastlegging vindt plaats in de onder- en bovengrondse biomassa van riet. Meer dan 50% wordt vastgelegd in de ondergrondse biomassa. De vastlegging in bovengrondse biomassa is seizoensgebonden. De opslag van nutriënten in riet bereikt zijn maximum in augustus. Aan het eind van het groeiseizoen wordt een deel (15-50%) van de bovengronds opgeslagen nutriënten naar de wortels verplaatst. Door tijdig te maaien kunnen de bovengronds vastgelegde nutriënten worden verwijderd voordat ze naar de wortels kunnen worden overgebracht. Een deel van de nutriënten (maximaal 10%) wordt verwijderd door zaadval.

2. Vastlegging in organische biomassa

Bij de afbraak van organische stoffen neemt de biomassa in de bodem toe. Deze biomassa bevat stikstof en fosfaat.

3. Bacteriële omzettingen

Stikstof kan worden verwijderd door nitrificatie en denitrificatie. Fosfaat wordt niet door bacteriële omzettingen verwijderd.

4. Adsorptie

Fosfaat kan door chemische binding aan van nature aanwezige stoffen (ijzer, calcium) aan een adsorbens (ijzervijzel, marmer) onoplosbaar worden gemaakt. Stikstofverwijdering door adsorptie is theoretisch mogelijk.

5. Filtratie

Zwevende stof kan substantiële concentraties fosfaat en stikstof bevatten. In een verticaal doorstroomd helofytenfilter wordt zwevende stof door filtratie verwijderd. Op dit verwijderingsmechanisme wordt in de literatuur over verticaal doorstroomde helofytenfilters niet nader ingegaan.

FOSFAATVERWIJDERING

1. Vastlegging in riet

In de literatuur wordt aangegeven dat de hoeveelheid fosfaat die verwijderd kan worden door opslag in het riet in verhouding relatief klein is. In de onderstaande tabel wordt een waarde gepresenteerd die een indruk geeft van de bindingscapaciteit van riet voor fosfaat.

TABEL 3:

BINDINGSCAPACITEIT VAN RIET VOOR NUTRIËNTEN

	Massa (kg/ha* jaar)
Bovengrondse biomassa	4.000-6.000
P-vastlegging	11-63

Bij een gemiddelde oppervlaktebelasting van $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ komt deze vastlegging gemiddeld neer op een verwijderingscapaciteit van $0,015\text{-}0,09 \text{ mg P}$ per aangevoerde liter water. Door in september te maaien wordt de verwijderingsefficiëntie zo groot mogelijk gemaakt.

Direct na de aanleg van een helofytenfilter, als sprake is van een toename van de rietmassa, kan tijdelijk een hogere verwijdering van fosfaat door rietgroei worden bereikt.

2. Vastlegging in organische biomassa

Fosfaat kan in een filter worden opgeslagen als microbiële biomassa en in rottend materiaal. In literatuur wordt aangegeven dat dit slechts een tijdelijke vastlegging betreft.

3. Adsorptie en chemische binding

Om de (ortho)-fosfaatverwijdering van helofytenfilters te vergroten worden aluminium, ijzer en/of calcium aan het filterbed toegevoegd. Volgens literatuur heeft calcium de grootste invloed op de fosfaatadsorptiecapaciteit. Stoffen die volgens de literatuur een zeer hoge affiniteit voor fosfaat hebben zijn slakken uit de ijzeren staalproducerende industrie. De verklaring voor de hoge fosfaatverwijdering ligt waarschijnlijk in het hoge ijzer en calcium gehalte van de slakken. Bij een 4 jaar durend experiment is aangetoond dat een mengsel van zand, kalksteen en ijzeroxidehoudend slakmateriaal in staat is om gedurende langere tijd (4 jaar) fosfaten uit water te verwijderen. Het Lake Utterslev filter, een verticaal doorstroomd helofytenfilter bestaande uit een sandwichconstructie van een laag vermorzeld marmer ingebed in twee lagen ijzerhoudend zand, liet gedurende de eerste jaren van operatie een goede fosfaatverwijdering uit oppervlaktewater en rioolwater zien. De gemiddelde effluent concentratie bevond zich onder de 0,05 mg P per liter. Volgens mondelinge mededelingen was de verwijdering in het daaropvolgende jaar slechter. Dit werd gemeten aan anaërobe condities in het filter. Uit literatuuronderzoek is gebleken dat het fosfaatfixerende karakter van verticaal doorstroomde helofytenfilters voornamelijk wordt bepaald door de aluminium-, ijzer-, en calciumgehalten van deze adsorbentia. Ook is bekend dat de oxides van aluminium en ijzer een rol spelen bij de adsorptie van fosfaten. Om te bepalen wat de stabiele vorm van deze metalen is als functie van de procescondities is een thermodynamische analyse uitgevoerd. Bij een pH hoger dan 6 is de precipitatie van ijzerfosfaat niet mogelijk. De werking van ijzerhoudende toevoegingen moet dus berusten op adsorptie.

Aluminium

Om uitspoeling van aluminium uit aluminiumhoudende adsorbentia te voorkomen moet de pH tussen bepaalde waarden liggen ($3,9 < \text{pH} < 8,4$). Onder normale bedrijfscondities zal het aluminium voorkomen als gehydrateerd aluminiumoxide. Net als voor ijzerfosfaat is precipitatie van aluminiumfosfaat geen verwijderingsmechanisme van betekenis. Geconcludeerd wordt dat de werking van aluminiumhoudende adsorbentia moet berusten op adsorptie (monolaagadsorptie) of chemisorptie.

Ijzer

Om een geschikt substraat voor fosfaatadsorptie ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) te vormen moeten de condities in een verticaal doorstroomd helofytenfilter voldoen aan zekere voorwaarden. De combinatie van redoxpotentiaal en zuurgraad moet ijzeroxiderende condities toelaten. Als het milieu te zuur ($\text{pH} < 6$) en/of sprake is van zuurstofrijke condities, kan de uitspoeling van ijzer als Fe^{2+} ionen uit het filter mogelijk. Geconcludeerd wordt dat de werking van ijzerhoudende adsorbentia moet berusten op adsorptie (monolaagadsorptie) of chemisorptie.

Calcium

Het metaal calcium is dermate onedel, en de gevormde oxides en hydroxides zijn dermate oplosbaar, dat onder normale bedrijfscondities geen vast calciumoxide en hydroxide aanwezig zullen zijn. Dit betekent dat alle calciumoxide en hydroxide uiteindelijk in oplossing zal gaan en zal neerslaan (als calciumcarbonaat bijvoorbeeld) of uitspoelen. Het verlagen van het fosfaatgehalte tot de gewenste waarde door middel van de precipitatie van calciumfosfaat is vrijwel altijd mogelijk, pas bij zeer hoge (en voor oppervlaktewater ongewenste) pH-waarden

verloopt deze reactie niet meer. De precipitatie van calciumfosfaat is een relatief langzaam proces. De verwijdering van fosfaat door middel van calciumhoudende substraten kan dus zowel plaatsvinden via adsorptie van fosfaat, als via de precipitatie van calciumfosfaat. Echter calciumcarbonaat, de meest voorkomende vorm van calcium, is slechts licht basisch. De hydroxylgroepen, die aanwezig zijn op het adsorbent zijn dus niet erg actief. Bij de adsorptie van fosfaat wordt een hydroxylgroep uitgewisseld voor een H₂PO₄-groep. De binding tussen fosfaat en het calciumcarbonaathoudend adsorbent zal dus minder sterk zijn, dan bijvoorbeeld de binding tussen fosfaat en een ijzerhydroxidehoudend adsorbent.

4. Filtratie

Zwevende stof bevat zekere concentraties nutriënten. Het helofytenfilter is een effectieve barrière voor zwevende stof. Het is niet duidelijk in hoeverre de nutriënten die op deze manier worden gebonden permanent uit het watersysteem worden verwijderd.

STIKSTOFVERWIJDERING

1. Vastlegging in riet

De vastlegging van stikstof in riet is ongeveer een factor 10 groter dan de vastlegging van fosfaat. In de onderstaande tabel wordt een waarde gepresenteerd die een indruk geeft van de bindingscapaciteit van riet voor fosfaat.

TABEL 4:

BINDINGSCAPACITEIT VAN RIET VOOR NUTRIËNTEN

	Massa (kg/ha*jaar)
Bovengrondse biomassa	4.000-6.000
N-vastlegging	127-460

Bij een gemiddelde oppervlaktebelasting van 0,2 m³/m².d komt dit neer op een verwijderingscapaciteit van 0,2-0,6 mg N per aangevoerde liter water.

2. Verwijdering van zwevende stof en vastlegging in organische biomassa

Net als fosfaat kan ook stikstof in een filter worden verwijderd met zwevende stof en opgeslagen als microbiële biomassa en in rottend materiaal. In de literatuur wordt aangegeven dat dit slechts een tijdelijke vastlegging betreft.

3. Bacteriële omzetting

Bacteriële omzetting (nitrificatie en denitrificatie) is een belangrijk verwijderingsmechanisme voor stikstof. Het rendement hangt sterk samen met de condities in het filter. Voor een optimale stikstofverwijdering zijn aërobe (zuurstofrijke) condities en anoxische (wel nitraat, geen zuurstof) condities naast elkaar noodzakelijk. Verder moet sprake zijn van een neutrale pH en moet voldoende afbreekbaar organisch materiaal aanwezig zijn. Volgens literatuur wordt ongeveer 60% van de totale hoeveelheid verwijderde stikstof in een verticaal doorstroomd helofytenfilter verwijderd door nitrificatie en denitrificatie. Dit getal is echter specifiek voor een installatie. Verschillende installaties laten een brede range van verwijderingsrendementen voor stikstof zien (25-94%).

4. Filtratie

Zwevende stof bevat zekere concentraties nutriënten. Het verticaal doorstroomde helofytenfilter is een effectieve barrière voor zwevende stof. Het is niet duidelijk in hoeverre de nutriënten die op deze manier worden gebonden permanent uit het watersysteem worden verwijderd.

VASTLEGGING VAN NUTRIËNTEN IN HET RIET

Stikstof (N) en fosfor (P) zijn belangrijke grondstoffen voor de groei van riet. Stikstof kan in verschillende vormen voorkomen in het water; o.a. ammonium, nitraat en organische stikstofverbinding en kan door de plant worden opgenomen in de vorm van ammonium, nitraat en stikstof (als N₂). Fosfor wordt aangevoerd in de vorm van fosfaten en kan na vastlegging in de bodem door planten worden opgenomen. De groei van riet, en daarmee de opname van nutriënten, is in Nederland seizoensgebonden. Aan het begin van het groeiseizoen vindt een grote opname van nutriënten plaats die vervolgens steeds verder afneemt en aan het einde van het seizoen zelfs nagenoeg tot stilstand komt. Gemiddeld genomen worden de volgende hoeveelheden nutriënten opgenomen in de bovengrondse biomassa van het riet:

TABEL 1.

OPNAME VAN NUTRIËNTEN IN BOVENGRONDSE BIOMASSA DOOR RIET IN NATUURLIJKE OMSTANDIGHEDEN

	Massa (kg/ha*jaar)
Bovengronds biomassa	4.000-6.000
N-vastlegging	127-460 (+/- 10%)
P-vastlegging	11-63 (+/- 1%)

In riet worden de opgenomen stoffen tijdelijk in de bladeren en stengels vastgelegd. Langdurige vastlegging van de nutriënten vindt plaats in de wortels. Van de, door het riet, opgenomen hoeveelheid nutriënten wordt in het algemeen meer dan 50% vastgelegd in de ondergrondsebiomassa. De omvang van de vastlegging van nutriënten hangt af van klimaat, weer, beschikbaarheid van voedingsstoffen, leeftijd, etc.

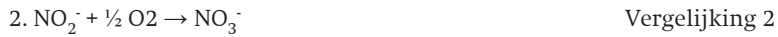
Aan het eind van een groeiseizoen wordt een deel van de bovengrondse delen opgeslagen stikstof- en fosforverbindingen teruggetrokken en in de ondergrondseden opgeslagen (translocatie). In het begin van het volgende groeiseizoen worden deze voedingsstoffen gebruikt voor de initiële groei. Deze translocatie kan 12% tot 50% van de bovengrondse hoeveelheid nutriënten bedragen. De bovengrondse nutriëntenopslag bereikt zijn maximum in augustus. Door in september of oktober te maaien en het maaisel af te voeren is de verwijderingsefficiëntie te vergroten, 40% tot 50% van de door het riet opgenomen hoeveelheid nutriënten kan zo worden verwijderd. Te vroeg maaien kan de groei van het riet in het nieuwe seizoen negatief beïnvloeden. Wordt er niet gemaaid, dan worden de opgenomen nutriënten uiteindelijk weer door afsterving en afbraak aan het water afgegeven.

Een deel van de opgenomen nutriënten wordt uit het rietveld verwijderd door zaadval, dit is maximaal 10% van de totale hoeveelheid van de door het riet opgenomen nutriënten. Een klein deel van de nutriënten wordt niet vastgelegd, maar weer afgescheiden naar het omringende water. Het gaat hier echter om niet meer dan enkele procenten.

In verschillende recente studies wordt naar voren gebracht dat planten geen grote rol spelen in de verwijdering van met name stikstof en fosfaat in infiltratievelden en wortelzonesystemen (0, 31, 34). Deze studies vergeleken de zuivering tussen beplante en onbeplante systemen. De reden van de kleine rol van waterplanten kan zijn, dat door de ondiepe worteling van de planten het grootste deel van het water onder de wortelzone door stroomt (0). Daarnaast wordt een aanzienlijk deel van de zuivering gedaan door micro-organismen die op het substraat groeien. Andere recente studies spreken de verwaarloosbare rol van planten weer tegen (32, 33). Volgens deze laatste studie zijn er verschillen tussen verschillende toegepaste plantensoorten, waarbij overigens een mengsel van Pitrus (*Juncus effusus*), *Scirpus validus* en grote lisdodde (*Typha latifolia*) een betere zuivering oplevert dan de drie monocultures. In de praktijk is het echter moeilijk om uiteindelijke dominantie door één soort te voorkomen.

STIKSTOFVERWIJDERINGPROCES

Door middel van nitrificatie (omzetting van ammonium in nitraat in een zuurstofrijke omgeving door bacteriën) wordt ammonium omgezet in nitraat. Dit vindt plaats in twee stappen:



Het nitrificatie proces verloopt optimaal bij een pH tussen de 6 en 7. Bij een hoge pH en lage temperatuur kan zich nitriet ophopen. Bij een zuurstofgehalte lager dan 0,3 mg/l kan geen nitrificatie meer optreden. De nitraationen stromen met het water, of diffunderen, naar anaërobe gebieden waar snelle denitrificatie plaatsvindt. Door middel van denitrificatie wordt nitraat via nitriet gereduceerd tot gasvormig N₂O en N₂ volgens de volgende reactievergelijkingen:

**FOSFAATVERWIJDERINGPROCES**

Bacteriële afbraak van fosfaat vindt nauwelijks plaats. Fosfaat wordt voornamelijk verwijderd door vastlegging in de bodem (zand) en voor een klein deel door vastlegging in de plant. Het relatief kleine deel van het fosfaat dat door bacteriën wordt opgeslagen zal maar tijdelijk worden vastgelegd. Bij afsterven van de bacterie komt het weer in het systeem terecht, het wordt niet, zoals stikstof, als een gasvormige verbinding uit het filter verwijderd.

Het overgrote deel van de verwijdering van fosfaat komt door vastlegging in de bodem. Onder aërobe omstandigheden (in de zuurstofrijke bovenlaag van het bed en in de aërobe gebieden rond de wortels) kan fosfaat adsorberen aan Fe (III)-hydroxiden (het wordt uitgewisseld met OH-groepen aan het oppervlak, zie vergelijking 5). Dit proces verloopt het efficiëntst bij een pH van 4-7.



Onder anaërobe omstandigheden lossen de ijzerhydroxiden op en kan fosfaat nalevering optreden. Omstandigheden waarbij dit gebeurt zijn bijvoorbeeld ernstige verstopping van het rietbed of afsterven van het riet. In aanwezigheid van aluminium kan fosfaat ook daar hydroxiden mee vormen. Bij een pH hoger dan 6 kan vorming, gevolgd door neerslag, van calciumhydroxyfosfaten optreden. Deze twee processen verlopen ten opzichte van de adsorptie aan hydroxiden zo langzaam, dat er in de praktijk geen rekening mee hoeft te worden gehouden.[4] Het vermogen van het helofytenfilter om fosfaten vast te leggen kan worden vergroot door in plaats van zand een substraat te gebruiken, of toe te voegen, dat fosfaten beter kan vastleggen. Voorbeelden hiervan zijn: schelpengrit, ijzergruis, ijzerhoudend zand, slakken uit de staalindustrie en zeolieten. Of gekozen moet worden voor een ijzerrijk of een calciumrijk substraat hangt af van de pH van het te behandelen water (bij een lage pH ijzer, bij een hoge pH calcium).

Uit een vergelijkend onderzoek tussen verschillende ijzerbindende toevoegingen voor helofytenfilters blijkt dat niet alle substraten even bruikbaar zijn. Bauxiet en ijzeroer binden fosfaat goed, maar de contacttijd in het filter is te klein om voldoende fosfaat te kunnen binden. Van zowel kalk als ijzeroer zijn voor een voldoende vastlegging dermate grote hoeveelheden

nodig, dat ze onbruikbaar zijn voor deze toepassing. Bovendien kan ijzeroer het zwevendstofgehalte verhogen. IJzervijlsel bindt het fosfaat wel voldoende snel, echter in zuurstofarme omgeving kunnen bijproducten, zoals magnetiet, ontstaan, die geen fosfaat binden en het filter kunnen verstoppelen. IJzer zal dus strikt in de zuurstofrijke bovenlaag moeten worden toegevoegd. Een tweede nadeel is dat de ontstane ijzerhydroxiden het fosfaat wel goed binden, maar ook snel uitspoelen.

Ook toevoeging van ijzergruis kan een verhoging van het zwevend stofgehalte in het effluent van het filter veroorzaken. Bij fosfaatconcentraties hoger dan 6 mg P/l kan kalk aanzienlijke hoeveelheden fosfaat binden. Het onderzoek ging er vanuit dat een concentratievermindering van 0,6 mg P/l tot 0,15 mg P/l een goede verwijdering inhoudt, dit is een vermindering van 75%. Wanneer fosfaatverwijdering belangrijk is, dient voldoende aandacht aan de zandkeuze besteed te worden; zand met een ruw korreloppervlak houdt fosfaat beter vast dan zand met een gladder korreloppervlak en een qua minerale inhoud een slecht gekozen zandsoort kan na enkele maanden al met fosfaat zijn verzadigd.

INTERNATIONAAL ONDERZOEK

Van de volgende helofytenfilters (waar regenwater op afstroomt) zijn gegevens gevonden en weergegeven.

- Queen Anne's Stormwater Wetland Site (helofytenfilter in Washington, V.S)
- Commercial constructed wetland (helofytenfilter in Indiana, V.S)
- Silver Star Road Study gebied (helofytenfilter bij Washington, V.S)
- Helofytenfilters door heel de V.S (6 helofytenfilters in Washington, California, Texas, Virginia, Georgia en Denver, V.S)

QUEEN ANNE'S STORMWATER WETLAND SITE (V.S)

Dit helofytenfilter is gelegen in een park in Washington, het filter behandelt een afvoerend oppervlak van 6,4 ha. Dit afvoerend oppervlak bestaat onder andere uit daken en parkeerplaatsen, waarvan het regenwater afstroomt.

Bijzonderheden

Er is een zandfilter is toegevoegd ter voorkoming van intrede van grondwater. Verder is er gebruik gemaakt van 3 verschillende plantensoorten

- Three Square
- Lizard Tale
- Duck Potato (Sagittaria)

Conclusies

Het verwijderen van het zwevend stof ging goed (65%), dit ligt zo'n 15% boven het gemiddelde van de praktijkvoorbeelden uit de internationale literatuur.

Het verwijderingsrendement van nutriënten in oplosbare vorm (ortho-P en ammonium stikstof) lag boven de 50%. De opgeloste nutriënten worden opgenomen door algen en bacteriën en dan omgezet in vaste deeltjes. Door de biologische activiteit binnen het filter in het groeiseizoen is er een lichtelijk export van de vaste deeltjes in het effluent van het helofytenfilter [108].

COMMERCIAL CONSTRUCTED WETLAND (V.S)

Dit filter is gelegen in Indiana, in de V.S. Het filter is 0,25 ha groot en is een systeem van 3 vijvers. Op het filter stroomt regenwater af. Het afvoerende oppervlak is 4,1 ha en dus kleiner dan de aanbevolen 10 ha.

Bijzonderheden

Het helofytenfilter is bedoeld voor de behandeling van het zogenaamde “first flush” (eerste spoeling). Verder is bekend dat het aangesloten verharde oppervlak bestaat uit parkeerplaatsen, verschillende locale wegen en een snelweg.

Conclusies

Alle effluentwaarden voldoen aan de MTR waarden. Verder valt uit de tabel te lezen dat er een zeer groot negatief verwijderingsrendement is (-225%) voor het zwevend stof gehalte, dit kan komen doordat de inlaat te laag gedimensioneerd is en opwoeling optreedt, het kan ook zijn dat er teveel piekstromingen plaatsvinden.

SILVER STAR ROAD GEBIED (V.S)

Dit filter is gelegen bij Washington in de V.S

Bijzonderheden

Van dit onderzoek zijn alleen de zuiveringrendementen bekend (geen dimensioneringen)

Conclusies

Elke gemeten parameter waar een voldoet aan de MTR-normen. Het zuiveringsrendement van het filter voor totaal fosfaat ligt niet erg hoog (20%) voor een helofytenfilter mag je toch wel zowat 45% verwachten. De rendementen van de zware metalen waren beter, namelijk zink 40% en lood 61,5 [109].

6 VERSCHILLEND GEDIMENSIONEERDE AMERIKAANSE HELOFYTENFILTERS

De 6 helofytenfilters zijn gelegen door heel de V.S. Het gaat hier om filters waar regenwater op afstroomt van de volgende steden: Washington, California, Texas, Virginia, Georgia en Denver.

Bijzonderheden

Dit betreft de dimensioneringen van 6 verschillende “wet ponds” in de V.S. Van de vijvers zijn geen zuiveringsrendementen bekend.

Conclusies

Een belangrijk gegeven is de Vb/Vr verhouding. Bij Texas dit getal gemiddeld het hoogst en bij Denver het laagst. Bij de dimensionering van de filters vallen geen uitzonderlijke waarden op. Het ontwerp van de filters ligt ongeveer gelijk.

ERVARINGEN MET HELOFYTENFILTERS ANDERS DAN VOOR REGENWATER

(<http://www.compris.nl/eco/index.html>)

Op diverse locaties in Nederland zijn verticaal doorstroomde zuiveringsfilters aangelegd. De meeste van deze filters worden gebruikt om huishoudelijk afvalwater te zuiveren. Het afvalwater heeft een heel andere samenstelling dan oppervlaktewater. Vandaar dat de ervaringen met dat type afvalwater over het algemeen niet interessant is voor Leidsche Rijn. Vijf filters zijn in Nederland in gebruik (geweest) voor het zuiveren van oppervlaktewater en/of rwzi-effluent.

EFTELING

Bij attractiepark de Efteling is sprake van een watertekort. In het park is water nodig voor beregening en om het water aan te vullen dat vanuit de vijvers in de grond zakt.

Vroeger werd al dit water uit de grond opgepompt. Maar omdat dit nadelige milieueffecten heeft, is in opdracht van de provincie gezocht naar alternatieven. Gekozen is om het water dat uit de rioolwaterzuiveringsinstallatie komt, te gebruiken.

Vanwege de volksgezondheid en verbeteren van de waterkwaliteit moest dit eerst nog verder gezuiverd worden voordat het in de Efteling mocht worden gebruikt. Gekozen is voor het toepassen van een verticaal doorstroomd helofytenfilter.

Eerst is op kleine schaal in 1995-1996 een proef gedaan (24 m²) en naar aanleiding van de goede resultaten is besloten om het te vergroten tot 8.500 m²). Het filter is sinds 1998 volledig in gebruik.

In het begin waren de resultaten redelijk goed voor wat betreft de verwijdering van bacteriën en fosfaat. De fosfaatverwijdering viel echter tegen en er kon geen eenduidige verklaring worden gegeven. Het probleem is opgelost door op de zuiveringsinstallatie zelf extra fosfaat te verwijderen.

GROOTE MOOST

In het natuurreserveaat Groote Moost is in de afgelopen decennia sprake geweest van verdroging en eutrofiering (te veel voedingsstoffen als stikstof en fosfaat).

Om verdroging te voorkomen werd in het verleden water ingelaten vanuit de naastgelegen watergang Noordervaart. Dit water is echter te rijk aan stikstof en fosfaat. Daarom is besloten het inlaatwater voorafgaand te behandelen in een helofytenfilter (360 m²).

Het filter is in 1999 aangelegd. In het begin was het filter succesvol. 60% tot 70% van het stikstof en fosfaat werd verwijderd. Het filter is sedertdien slechts stand-by geweest en nat gehouden met een lichte doorstroming.

HOEVENSE WIELEN

De Hoevense Wielen hadden in het verleden een onvoldoende waterkwaliteit waardoor onder andere de visstand zich niet evenwichtig kon ontwikkelen. Er was te veel brasem en karper en de oeverplanten waren te slecht ontwikkeld waardoor er onvoldoende paargelegenheid was. De kleine Wielen waren zeer ondiep en het Zandwiel was door de inlaat van Mark water ook ondiep geworden.

Het Zandwiel werd op peil gehouden door ongezuiverd voedselrijk Markwater in te laten. Dit gebeurt niet meer. In 2002 is een verticaal doorstroomd helofytenfilter (100 m²) in gebruik genomen om te voorkomen dat het Markwater opnieuw een negatieve invloed heeft op de waterkwaliteit. Het helofytenfilter heeft een rendement van 32% voor stikstof en 69% voor fosfor. De verwijdering van ortho-fosfaat is 37%.

DRACHTEN

In Drachten is in de nabijheid van het centrum een klein watersysteem aangelegd met een recreatieve functie. Het water moet geschikt zijn als zwemwater. Om te voldoen aan deze doelstelling is een verticaal doorstroomd helofytenfilter aangelegd. Bijzonder aan dit filter is dat geen adsorbens voor fosfaat in het filter is opgenomen. Er zijn geen verdere gegevens vrijgegeven.

RAALTE

Bij de rioolwaterzuiveringsinstallatie Raalte is in 1999 en 2000 een kleinschalige (35 m²) proef uitgevoerd met het bereiden van industriewater uit rwzi-effluent. Het betrof hier een combinatie van een verticaal doorstroomd helofytenfilter en een bodempassage. Het doel van het filter was in eerste instantie het verbeteren van de hygiënische kwaliteit van het rwzi-effluent. In tweede instantie werd ook gestreefd naar het verlagen van de nutriëntengehalten om de biologische stabiliteit van het water te vergroten.

Het filter heeft in de proefperiode een vrijwel volledige verwijdering van bacteriën laten zien. De verwijdering van stikstof en fosfaat was redelijk tot goed. De ervaringen zijn wisselend.

CULEMBORG

In Culemborg is eind 2003 een verticaal doorstroomd zuiveringsfilter gebouwd om huishoudelijk afval te zuiveren in de wijk EVA-Lanxmeer. De opbouw van het filter is vergelijkbaar met het proeffilter in Leidsche Rijn.

Het huishoudelijk afvalwater dat vrijkomt uit woningen, kantoren en een school wordt niet naar de riolering afgevoerd maar met het filter gezuiverd en daarna afgevoerd op het oppervlaktewater.

Het afvalwater stroomt via een voorbezinking naar een pompput. Vanuit de pompput wordt het water een aantal malen per dag over het zandbed onder de grindlaag gepompt. Het water zakt door het zand langs de rietwortels naar beneden. Hier wordt het gezuiverd door micro-organismen die in het zand en aan de wortels van de rietplanten leven. Via de drainagebuizen onder in het filter wordt het gezuiverde water verzameld en afgevoerd naar het oppervlaktewater.

De eerste resultaten zijn positief. Fosfaat, nitraat en ongewenste bacteriën worden in meer dan voldoende mate verwijderd.

DRIELANDEN HET HELOFYTENFILTER

Onze wijk Drielanden staat bekend op het gebied van het duurzaam bouwen. Een van de belangrijkste onderdelen hiervan is het watersysteem. De afgelopen vier jaren is dit systeem nauwlettend gevolgd en onderzocht door een van onze wijkbewoners, Jan van Dijk.

Van dit vierjarig onderzoek is nu een rapport verschenen waar we hier een korte samenvatting van geven. Het rapport heeft de titel "Stedelijk Waterbeheer Drielanden, evaluatie" meegekregen.

Nergens is de relatie tussen milieubewust handelen en de consequenties daarvan zo zichtbaar geworden als in Waterland. Het onderstreept een van de belangrijkste uitgangspunten van het integraal waterbeheer: betrokkenheid van alle deelnemers is voorwaarde voor het succes van het proces.

Wat is er op het gebied van waterbeheer in Waterland gerealiseerd:

- Drinkwaterbesparing
- Gescheiden afvoer van regenwater en opslag in vijvers en bodem
- Natuurvriendelijk water- en oeverbeheer
- Herwaardering van watersystemen bij de ruimtelijke inrichting van het woongebied
- Toepassing helofytenfilters voor grijs afvalwaterzuivering

De afvoer van regenwater gebeurt in Zon- en Mooiland door middel van een verbeterd gescheiden rioolstelsel en in Waterland door middel van een regenwaterriool of door vrije afstroming naar het wijkoppervlaktewater. Het wijkoppervlaktestelsel is een gesloten systeem waarin gebiedsvreemd polderwater zoveel mogelijk geweerd wordt.

Het grijze afvalwater (keuken, douche en (af)wasmachine) wordt in het helofytenfilter gezuiverd. 110 huishoudens in Waterland zijn aangesloten op een gescheiden riool die dit grijze

afvalwater afvoert naar het helofytenfilter. Het water verblijft gemiddeld 18 dagen in dit filter. Vervolgens gaat het naar een tweede vloeiveld, het wijkwaterfilter waar het circa twee dagen verblijft. In de wintermaanden wordt het systeem buiten gebruik gesteld omdat de gewenste bacterien onder een bepaald temperatuurniveau (10 graden) niet actief zijn.

In de seizoenen 1996 tot en met 1999 is onderzoek gedaan of het systeem goed werkt. Het is gebleken dat de zuiveringsprestaties van het systeem prima is. Wel wordt in het rapport opgemerkt dat ondanks maatregelen de geur bij bepaalde weersomstandigheden wel is afgenomen maar toch nog zo sterk is dat het een nadelige invloed heeft op het woonklimaat. Desondanks is hierover niet officieel geklaagd.

Aanbevolen wordt in het rapport dat indien de geuroverlast niet verminderd overwogen dient te worden om het project te beëindigen en het systeem zodanig aan te passen dat wel het wijkoppervlaktewaterkwaliteit geoptimaliseerd kan worden. Helofytenfilters of zuiveringsmoerassen zijn aangelegde of natuurlijke bassins waarin met behulp van moerasplanten (helofyten), meestal riet, water gezuiverd wordt.

Belangrijk voor het slagen van het project is de medewerking van de bewoners van Waterland. Niet alle bewoners zijn op de hoogte van de milieuvriendelijke aspecten van het wonen in Waterland in het algemeen en de aanwezigheid van de grijs afvalwaterzuivering in het bijzonder. Het is belangrijk om af te zien bijvoorbeeld van het gebruik van bepaalde (schoonmaak)middelen waarbij onderscheid gemaakt kan worden tussen stoffen die “liever niet” en “absoluut niet” gebruikt mogen worden. Bij de “liever niet stoffen” worden o.a. synthetische wasmiddelen, wasverzachters, ammoniak en gootsteenontstoppers genoemd. De “absoluut niet stoffen” zijn chloor en verfverduuners bijvoorbeeld.

ERVARINGEN IN HET BUITENLAND

Ook in het buitenland worden verticaal doorstroomde zuiveringsfilters toegepast, maar hoofdzakelijk om effluent van een rioolwaterzuivering te zuiveren.

Om oppervlaktewater te zuiveren worden daar vaak vloeivelden toegepast. Het nadeel van vloeivelden is dat ze minder efficiënt zijn dan een verticaal doorstroomd filter, maar daar staat tegenover dat ze over het algemeen goedkoper zijn.

Zeker wanneer er veel ruimte beschikbaar is en de grondprijzen lager zijn (wat dus vaak in het buitenland het geval is), is een vloeiveld een prima alternatief.

In Nederland met de beperkte ruimte en de hoge grondprijzen, is dat anders.

Vandaar dat er in het buitenland nog weinig ervaring is opgedaan met verticaal doorstroomde filters met de specifieke functie om stedelijk water verder te zuiveren.

Een van deze projecten is een project in het Lake Utterslev in Denemarken. Een deel van het meer is in 1998 ingericht als zuiveringsfilter om oppervlaktewater en overstortend rioolwater te zuiveren.

Een van de weinige relevante onderzoekslocaties is een Deens filter, waar fosfaat wordt verwijderd uit oppervlaktewater en riooloverstorten bij het Lake Utterslev (Gervin et al.

2001). Het aldaar geplaatste filter is sinds het einde van de vorige eeuw in bedrijf. Het filter beslaat een oppervlak van 0,5 hectare en heeft in de eerste twee jaar een zeer goed verwijderingsrendement voor fosfaat laten zien (70 tot 97%) bij een voor de Nederlandse situatie relevante effluentconcentratie (ca. 0,05 mg P/l). Voor de verwijdering van fosfaat zijn ijzerhoudend zand en vermorzeld marmer toegevoegd.

Helaas zijn geen gegevens beschikbaar over de laatste jaren. Het is dus niet bekend

BIJLAGE 3

BEZINKBAK/BEZINKVIJVER

PROCESSEN

Binnen de voorzieningen kan het vuil op twee wijzen gereduceerd worden.

De eerste is de verwijdering van microverontreinigingen die gebonden zijn aan het zwevend stof. Dit wordt gerealiseerd doordat de stroomsnelheid binnen de bezinkvoorzieningen gering is en de deeltjes neerslaan (sedimentatie). Van zware metalen en PAK wordt aangenomen dat deze vrij sterk aan slibdeeltjes hechten. Sedimentatie is het belangrijkste verwijderingsproces.

De tweede is de reductie van de concentraties oplosbare nutriënten door een biologisch proces. De algen consumeren deze nutriënten. Na de verwijdering van de algen zullen de concentraties zakken. Verwijder je deze niet, dan kunnen de dode algen ontbinden in oorspronkelijke oplosbare nutriënten vorm [76].

FIGUUR

BEZINKVIJVER



BEZINKING EN OPDRIJING

Theorie [58]

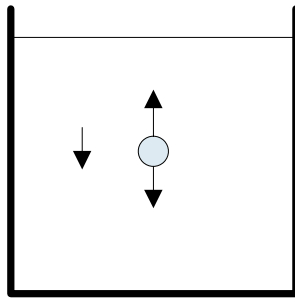
De theoretische achtergrond van bezinking en opdriving is identiek. Daarom zal er wanneer er wordt gesproken over bezinking, hetzelfde gelden voor opdrijven alleen dan omgekeerd. De voerende vloeistof kan water, olie of een andere chemische vloeistof, vet e.d. zijn. Bij lamellenseparatoren gaat het uitsluitend om water.

Wanneer een vast deeltje wordt los gelaten in stilstaand water zal het gaan bewegen. De beweging is verticaal naar boven wanneer de dichtheid van het deeltje lager is dan die van de omringende vloeistof. Het deeltje zal naar beneden bewegen wanneer de dichtheid van het deeltje groter is.

De snelheid van het deeltje zal stabiliseren wanneer de zwaarte kracht (opdrivende kracht voor een deeltje lichter dan water) de wrijvingskrachten evenaart (figuur 10.6).

FIGUUR 9.6

BEWEGING VAN EEN ZINKEND DEELTJE IN WATER [58]



De zwaarte kracht F_i is gelijk aan het ondergedompelde gewicht van het deeltje:

$$F_i = g(\rho_d - \rho_w)V \quad (1)$$

ρ_w = soortelijke massa van water = $1,00 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

ρ_d = soortelijke massa van het deeltje ($10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

g = gravitatieversnelling = $9,81 \text{ m/s}^2$

V = Volume van het deeltje (m^3)

Volgens de wet van Newton is de wrijving gelijk aan:

$$F_d = C_d * \frac{\rho_w * v_s^2}{2} * A \quad (2)$$

C_d = Wrijvingscoëfficiënt (-)

v_s = Snelheid van het deeltje (m/s^1)

A = het gebied rond het deeltje in de richting van de beweging (m^2)

$$\text{Bij een constante snelheid is } \sum F = 0 \text{ of } F_i = F_d \quad (3)$$

Uit vergelijking 3 volgt:

$$v_s = \sqrt{\frac{2}{C_d} * \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} * g * \frac{V}{A}} \quad (4)$$

De wrijvingscoëfficiënt is afhankelijk van de stroming direct rond het deeltje.

Bij de lamellenseparatoren is alleen de laminaire stroming van belang. Als dan de waarde van de wrijvingscoëfficiënt wordt ingevoerd is de valsnelheid, voor bolvormige deeltjes, met de volgende formule van Stokes [41] te bepalen:

$$v_s = \frac{D^2 * (\rho_w - \rho_d) * g}{18 * \eta} \quad (5)$$

Waarin:

D = diameter druppel/deeltje.

η = dynamische viscositeit van de vloeistof, water = $1,00 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$

Zoals uit de wet van Stokes blijkt, is vooral de grootte van het af te vangen deeltje van belang voor de snelheid waarmee het bezinkt/opstijgt (kwadratische functie). Ook het soortelijke gewicht van de af te scheiden vaste stof heeft invloed. Hoe groter het verschil tussen het soortelijke gewicht van het af te scheiden deeltje met dat van water, hoe eenvoudiger de afscheiding zal gaan [59]. De formule van Stokes is alleen van toepassing op bolvormige deeltjes bij een laminaire stroming.

Andere factoren die de valsnelheid beïnvloeden zijn:

- clustereigenschappen van deeltjes (coalescentie, coagulatie en flocculatie)
- hydrofoob (olie) en hydrofiel (slib) gedrag van delen

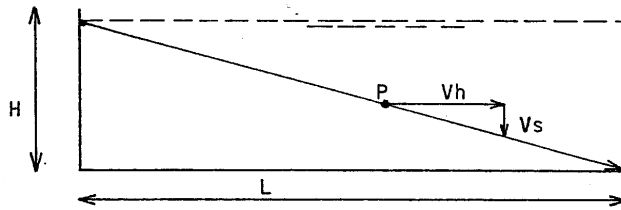
Theorie van bezinking in een bezinkbak [58]

Een deeltje met een bezinksnelheid (V_s) komt in een bezinkbak terecht met de dimensies lengte (L), breedte (B) en hoogte (H) en een debiet (Q). L, B en H zijn in meters en Q in m³/s.

Wanneer het deeltje gescheiden moet worden van het water, moet het de bodem van de bezinkbak halen voor het einde van de bak. De minimale bezinksnelheid voor een deeltje kan berekend worden, zodat het deeltje nog gescheiden wordt van het water (zie figuur 10.7).

FIGUUR 9.7

DE WEG VAN HET DEELTJE WELKE BEZINKT, SCHEMATISCH WEERGAVE



De horizontale water snelheid is:

$$v_h = \frac{Q}{H * B} \quad (6)$$

De relatie tussen v_h en v_s is:

$$\frac{v_h}{v_s} = \frac{L}{H} \quad (7)$$

Als de vergelijkingen (6) en (7) worden gecombineerd kan de valsnelheid (v_s) worden berekend:

$$v_s = \frac{Q}{L * B} = \frac{Q}{A} \quad (8)$$

Dit is de minimaal benodigde valsnelheid om een deeltje te laten bezinken. Naast de term v_s wordt ook de term S_o (oppervlaktebelasting) gebruikt. In de literatuur komt de volgende formule veelvuldig voor om het bezinkoppervlak van een bergbezinkbassin te berekenen.

$$A = \frac{Q}{S_o} \quad (9)$$

De oppervlaktebelasting kan gezien worden als het volume water waarmee het horizontale tankoppervlak (het bezinkoppervlak van de bodem = A) per tijdseenheid wordt belast. De oppervlaktebelasting is ook te schrijven als functie van de valhoogte (H) en het volume (V):

$$S_o = \frac{Q * H}{V} \quad (10)$$

INTERNATIONAAL

Van de volgende bezinkvoorzieningen (waar regenwater op afstroomt) zijn gegevens gevonden en weergegeven. Dit zijn allen “on-line” vijvers en bevatten dus altijd water.

- Lake Aquitane en Wabykane (2 retentievijvers bij Ontario, Canada)
- Gietz (retentievijver bij Ottawa, Canada)
- Retentievijvers door heel de V.S (6 retentievijvers in Washington, California, Texas, Virginia, Georgia en Denver, V.S)
- Lakeside vijver en Runaway Bay (2 retentievijvers in Noord Carolina, V.S)
- Sint Elmo (retentievijver in Texas, V.S)
- Krubban (retentievijver in Örebro, Zweden)

LAKE AQUITANE EN WABYKANE (CANADA)

Dit zijn 2 natte retentievijvers vlak bij Toronto, Ontario (Canada). Ze zijn gemonitord van '77 tot '79. Lake Aquitane is 1,9 ha, het afvoerend verhard oppervlak is 43 ha. Lake Wabykane is een stuk kleiner gedimensioneerd, deze vijver is 0,8 ha. Het afvoerend verhard oppervlak is 186 ha.

Conclusies

De (oppervlak van de voorziening/afvoerend oppervlak)-verhouding is bij Lake Wabykane erg laag, de verwijderingsrendementen zijn dan ook erg laag.

Er zijn drie parameters gemeten, de rendementen van Lake Aquitane voor het zevend stof gehalte liggen op 80%, voor totaal stikstof tussen de 42,5% en ongeveer 80% voor totaal fosfaat. Voor Lake Wabykane voor het zwevend stof gehalte ongeveer 30%, voor totaal stikstof ongeveer 25% en voor totaal fosfaat 20%. Doordat Lake Aquitane kleiner is gedimensioneerd en het afvoerend oppervlak ook groter is liggen de verwijderingsrendementen lager.

GIETZ (CANADA)

In 1983 is een natte retentievijver gemonitord, deze vijver bevindt zich vlakbij Ottawa, Ontario in Canada. De vijver heeft een oppervlak van 1,3 ha en een afvoerend oppervlak van 60 ha.

Conclusies

Van het zwevend stof gehalte zijn verwijderingsrendementen gemeten tussen de 80 en 95%, voor BOD5 werd tussen de 35 en 45% gemeten. Het totaal fosfaat werd 70 tot 85% gereduceerd en organisch stikstof 45 tot 50%. De vijver heeft (oppervlak voorziening/afvoerend oppervlak)-verhouding van 1. Dit is een zeer hoge waarde in vergelijking met de andere praktijkvoorbeelden [76].

6 “NATTE” RETENTIEVIJVERS IN DE V.S

De 6 retentievijvers zijn gelegen door heel de V.S. Het gaat hier om “natte” vijvers waar regenwater op afstroomt van de volgende steden: Washington, California, Texas, Virginia, Georgia en Denver.

Bijzonderheden

Van deze voorzieningen zijn geen zuiveringsrendementen bekend.

Conclusies

Een belangrijk gegeven is de Vb/Vr verhouding. Dit is het volume van de inhoud van de voorziening gedeeld door de hoeveelheid regenwater die op de voorziening wordt afgevoerd. Hoe

hogere waarde, hoe beter de vijver de regenval aankan. In het geval van een hoge Vb/Vr verhouding zullen er minder piekstromingen plaatsvinden, zal de verblijftijd ook groot zijn en het verwijderingsrendement automatisch ook.

Er is te zien dat Denver een verblijftijd van 12 uur heeft, dit is erg weinig (voor de buitenlandse ontwerprichtlijnen zou dit te weinig zijn). Het ontwerp van de vijvers verschilt niet veel van elkaar [84].

LAKESIDE VIJVER EN RUNAWAY BAY (2 "NATTE VIJVERS") (V.S)

De Lakeside vijver en Runaway Bay bevinden zich vlakbij de plaats Charlotte in Noord Carolina in de V.S. Het onderzoek gaat over het presteren van 2 verschillend gedimensioneerde vijvers. De Lakeside vijver heeft een groot oppervlak en is diep en de Runaway Bay niet. Het afvoerende oppervlak van de eerste vijver is kleiner dan bij de tweede.

Bijzonderheden

De ontwerpers van de vijvers verwachtten geen hoge zuiveringsrendementen, omdat de vijvers niet van origine voor regenwater gedimensioneerd waren. Elke vijver bevat veel inlaten, welke dicht bij de uitlaten waren geplaatst.

Conclusies

Zoals al verwacht waren de gemeten zuiveringsrendementen bij dit onderzoek niet erg hoog. De hoogste rendementen kwamen van de Lakesidevijver. Dit doordat deze een groter volume heeft en het afvoerende oppervlak kleiner is dan bij de Runaway Bay[85].

SINT ELMO, TEXAS (V.S)

Deze vijver bevindt zich in de staat Texas, in de V.S. Jaarlijks valt er zo'n 750 tot 900 mm regen. In de zomers kan het zo zijn dat er enkele maanden geen regen valt, de verdamping is dan zo'n 255 mm per maand. Hierdoor is het nodig dat er soms extra water aan de vijver kan worden toegevoegd.

Bijzonderheden

Bij de inlaten ligt een voorbezinkbassin, die voor extra berging en zuivering moet zorgen. Met een verblijftijd van gemiddeld een maand is de vijver relatief groot gedimensioneerd. Het was moeilijk om het peil te handhaven doordat er verdamping plaatsvond.

Conclusies

Bij deze vijver zijn ook effluentgehalten gemeten. Zink overschrijdt de MTR-norm met 19,6 mg/l (norm = 40mg/l) en koper met 0,4 mg/l (norm = 3,8 mg/l). De nutriënten voldoen aan de norm.

Het verwijderingsrendement van de voorziening was (vergeleken met de andere praktijkvoorbeelden) erg hoog

- 93% voor zwevend stof
- 87% voor totaal fosfaat
- 60-90% voor totaal stikstof

Alleen de zware metalen werden minder goed verwijderd. (30-60%) [86].

KRUBBAN VIJVER (ZWEDEN)

FIGUUR

DE KRUBBAN VIJVER IN ZWEDEN



De vijver is in 1996 gebouwd en gelegen in Örebro, Zweden. Het is een systeem van 3 met elkaar in verbinding staande vijvers. Het totale oppervlak is 11,8 hectare.

Conclusies

Met een (oppervlak voorziening/afvoerend oppervlak)-verhouding van 0,0694 is de vijver redelijk gedimensioneerd. Het verwijderingsrendement van het zwevend stof gehalte is 93% dit is erg hoog in vergelijking met de andere voorzieningen. Waarschijnlijk komt dit doordat het een vijversysteem van 3 vijvers is waardoor er beter wordt gezuiverd. Ook een verwijderingsrendement van het totaal fosfaat van 87% is niet slecht te noemen. De rendementen van de zware metalen liggen duidelijk lager [87].

Alle gemeten waarden voldoen ruim aan de MTR-normen.

DROGE RETENTIEVIJVERS

Van de volgende zuiveringsvoorzieningen zijn gegevens gevonden en weergegeven:

- 5 “droge” retentievijvers (V.S)

5 “DROGE” RETENTIEVIJVERS (V.S)

Twee vijvers bevinden zich in Noord-Virginia (V.S). Het afvoerende oppervlak van de eerste vijver is 35,2 ha en van Londen 4,4 ha. Verder zijn er nog 3 vijvers die hetzelfde principe hebben weergegeven. Ze bevinden zich in Montgomery, Lawrence en Greenville en hebben een afvoerend oppervlak van 13,6, 4,8 en 80 ha.

Bijzonderheden

Van deze vijvers zijn bijna alleen rendementgegevens bekend.

Conclusies

In alle gevallen zijn de verwijderingsrendementen lager dan die van “natte” retentievijvers. Verder zijn de verwijderingsrendementen laag, de reden hiervan is de “resuspensie” van het sediment tijdens de regenbuien. Verder zijn de verblijftijden bekend, Lawrence heeft ruim de grootste verblijftijd (meer dan 3 dagen). Deze voorziening heeft dan ook vaak het grootste verwijderingsrendement, vooral de verwijdering van zware metalen gaat goed [76].

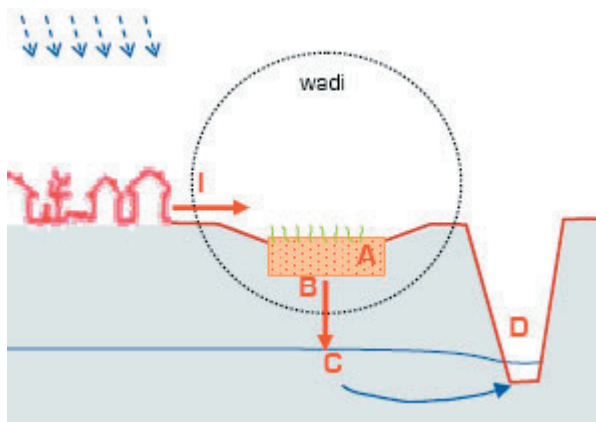
BIJLAGE 4

BODEMPASSAGE

PROCESSEN

Wanneer afstromend hemelwater in een bovengrondse infiltratievoorziening wordt geleid, verandert de samenstelling ervan door de bodempassage en de diverse fysisch-chemische stoftransportprocessen in de bodem (zie kader). Het principe van de werking van een bovengrondse infiltratievoorziening, in Nederland veelal aangeduid als wadi, is weergegeven in figuur 10.8.

FIGUUR 9.8 SCHEMATISCHE WEERGAVE PROCESSEN BODEMPASSAGE [88]



Het infiltrerende water (I) wordt effectief gezuiverd, doordat onopgeloste vuildeeltjes worden gefilterd en de opgeloste verontreinigingen aan de bodem worden gebonden (adsorptie) en organische stoffen deels worden afgebroken in de humeuze toplaag (A). Ook verdwijnt een klein deel van de verontreinigingen door gewasopname wanneer de begroeiing (bv. maaisel) wordt afgevoerd. Na passage van de bovengrond (toplaag) van de voorziening, kan het uitspoelende water (B) zich verder verspreiden naar het omringende grondwater (C) en via de grondwaterstroming naar nabij gelegen oppervlaktewater. Snellere routes naar het oppervlaktewater treden op als de ondergrond weinig doorlatend is (klei/veen) en het uitspoelende water via een drain naar het oppervlaktewater wordt geleid. Ook worden vaak overstortvoorzieningen in wadi's aangebracht, waardoor bij hevige regenval en/of onvoldoende infiltratiecapaciteit het afstromende water direct (zonder bodempassage) naar het oppervlaktewater afstroomt.

Kader fysisch-chemische stoftransportprocessen bij infiltratie.

Advectief transport: Dit is de verplaatsing van opgeloste stoffen met het stromende grondwater. In het geval van wadi's is dit dus het infiltrerende hemelwater door de toplaag naar de onderliggende bodem (en grondwater).

Adsorptie en desorptie: Hierdoor wordt een deel van de stoffen gebonden aan de vaste fase (vaste bodemdeeltjes). De stoffen bewegen dan belangrijk trager door de bodem als het water. Belangrijke adsorptieprocessen zijn de binding aan (in afnemende volgorde) organische

bestanddelen, metaaloxiden en kleideeltjes. Deze binding wordt sterk bepaald door de pH en de adsorptiecapaciteit van de bodem. De adsorptie kan worden verhoogd door toevoeging van ijzeroxides of organische stof. In zure bodems (pH < 6) wordt de adsorptie bevorderd door te bekalken. De aanwezigheid van veel zouten (bijvoorbeeld stroozout) leidt tot complexvorming, waardoor verontreinigingen minder effectief worden geadsorbeerd. Adsorptie is in principe reversibel, hetgeen inhoudt dat bij veranderende omstandigheden (bijvoorbeeld verzuring) stoffen weer in oplossing kunnen komen. Deze desorptie kan voor zware metalen en nutriënten, die van nature en door bemesting aanwezig zijn in bodems, snel leiden tot een negatief zuiveringsrendement.

Transport via DOC: Wanneer het infiltratiewater of het bodemvocht veel opgelost organische stof (DOC) bevat, neemt de effectieve adsorptie aan de vaste bodem sterk af. Dit komt doordat veel verontreinigingen ook preferent aan DOC hechten maar DOC zelf in de bodem mobiel kan zijn en met name in ondiepe bodems niet of weinig wordt afgebroken. Het kan daarom gunstig zijn maaisel en bladval af te voeren omdat dit door rotting veel DOC kan geven.

Afbraak: Organische verontreinigingen kunnen in de bodem significant worden afgebroken. Deze afbraak verschilt sterk per type verontreiniging en is sterk afhankelijk van de verblijftijd in de bodem en aan/afwezigheid van zuurstof. In het algemeen is de verblijftijd vrij kort (orde van dagen) en is het bodemvocht redelijk verzadigd met zuurstof. In deze condities breken enkele vluchtige PAK-verbindingen en olie deels af. Nitraat zal niet of nauwelijks afbreken, omdat hiervoor anaërobe condities nodig zijn. De afbraak van bestrijdingsmiddelen is waarschijnlijk door de geringe verblijftijden niet groot. Voor een volledige afbraak ervan zijn wisselende redox-omstandigheden in het algemeen het meest gunstig, omdat sommige middelen in een zuurstofrijk milieu goed afbreken maar de afbraakproducten juist in zuurstofloze condities en vice versa [88].

BIJLAGE 5

DOORLATENDE VERHARDING

INTERNATIONALE ERVARINGEN

In het artikel 'Use of permeable, reservoir pavement constructions for stormwater treatment and storage re-use' (Pratt, 1999) wordt ingegaan op het gebruik van doorlatende verharding in combinatie met ondergrondse berging. De kwaliteit van het water (geleidingsvermogen, alkaliteit en pH) in de berging blijkt veelal afhankelijk van het type steen in de ondergrondse berging.

Uit een tweejarige meting en laboratoriumonderzoek volgt dat olie en vetten in de berging worden vastgehouden en afgebroken. Of dit ook voor de lange termijn het geval is wordt nader onderzocht bij een jeugdherberg met een dergelijke voorziening onder een parkeerplaats. Ondanks dat in dit onderzoek geen influent is gemeten, geven de lage effluentconcentraties de indruk dat de doorlatende verharding een belangrijke zuiverende werking kan hebben.

In het artikel 'Infiltration opportunities in parking lot designs reduce runoff and pollution' (Rushton, 2002) wordt de kwaliteit van het regenwater en bodem beschreven voor een parkeerplaats met de volgende situaties:

- Asfalt parkeerplaats
- Asfalt parkeerplaats met infiltratie/afvoergreppel
- Betonnen parkeerplaats met infiltratie/afvoergreppel
- Doorlatende verharding met infiltratie/afvoergreppel

Er zijn geen metingen verricht van de grondwaterkwaliteit. De belangrijkste conclusies uit dit onderzoek zijn:

- De runoff van asfalt en betonnen parkeerplaatsen met een infiltratie/afvoergreppel bedraagt 30% van de totale neerslag. Voor doorlatende verharding bedraagt deze 16%
- Verontreinigingen in het afstromend regenwater worden het beste verwijderd bij doorlatende verhardingen met een grote infiltratiegreppel. Gemiddeld is het verwijderingspercentage 80% (verschil concentratie runoff en afvoer naar oppervlaktewater)
- De concentratie van fosfor en stikstof neemt echter toe na het passeren van de begroeide greppels
- Er is geen consistent beeld over de ophoping van metalen in de bovenste bodemlaag door de tijd heen

Groot-Brittannië (waterdoorlatende verhardingen)

Na contact te hebben gehad met de firma Aquaflow (Doede Boomsma) zijn een viertal documenten opgestuurd waarin melding wordt gemaakt van onderzoek naar waterdoorlatende verhardingen waaronder ook het Aquaflow systeem. Onderstaand worden deze rapporten behandeld.

1. Koper en zinkverwijdering in Aquaflow systeem [94]

In 2005 is een rapportage verschenen waarin een onderzoek wordt beschreven van de koper en zink verwijdering in een Aquaflow systeem. Er is gewerkt met een stroom water waarin de concentraties koper en zink bekend waren. De praktijk is gesimuleerd, de bestrating was niet echt in gebruik. Uit de proeven kwam naar voren dat beide metalen bij verschillende concentraties (variërend van 50 ug/l tot 500 ug/l) beide metalen goed werden verwijderd.

Bij de concentratie met 500 ug/l waren de verwijderingsrendementen voor beide metalen hoger dan 90%, bij 50 ug/l lag dit getal boven de 70%.

2. Effluent monitoring van een parkeerplaats met waterdoorlatende verharding [95]
In 2000 heeft een onderzoek plaatsgevonden naar zowel het kwalitatieve- als het kwantitatieve functioneren van doorlatende verharding welke in gebruik is bij the Bank of Scotland. Het gaat hierbij om rond de 300 parkeerplaatsen op 0,6 ha. De monitoring duurde een half jaar wat betreft het kwantitatieve aspect en twee maand wat betreft het kwalitatieve aspect. De monitoring startte nadat de bestrating ongeveer 20 maanden in gebruik was. De conclusies van het onderzoek zijn dat de waterdoorlatende verharding zowel kwalitatief als kwantitatief goed functioneert.
3. Olie biodegradatie in doorlatende verharding door microbiële processen [96]
Dit artikel beschrijft een onderzoek naar de afbraak van olie in waterdoorlatende verharding door microbiële processen. Deze olie is afkomstig uit lekkende auto's. Het artikel toont aan dat een commercieel middel om de afbraak te bevorderen niet beter werkt dat de in 4 jaar tijd opgebouwde microbiële populatie in de doorlatende verharding zelf. Voorwaarde is wel dat er genoeg voedingsstoffen aanwezig zijn om de micro-organismen te doen laten groeien.
4. De effecten van nutriënten op de biodegradatie van gebruikte en ongebruikte olie bij waterdoorlatende Verharding [97]
Dit artikel beschrijft wederom een onderzoek naar de biodegradatie van olie in waterdoorlatende verharding. Er is onderzocht wat het effect van nutriënten is op de biodegradatie van zowel gebruikte als ongebruikte motorolie. Gebruikt en ongebruikt is onderzocht omdat in gebruikte motorolie meer zware metalen zitten dan in ongebruikte. Uit de resultaten blijkt dat er geen grote verschillen op te merken zijn. Gedurende de testperiode werden zowel gebruikte als ongebruikte olie ongeveer voor de helft afgebroken. Uit de tests blijkt dat de aanwezige fosfaat in de olie beschikbaar is voor de micro-organismen. Zij gebruiken dit als voedingsstoffen.

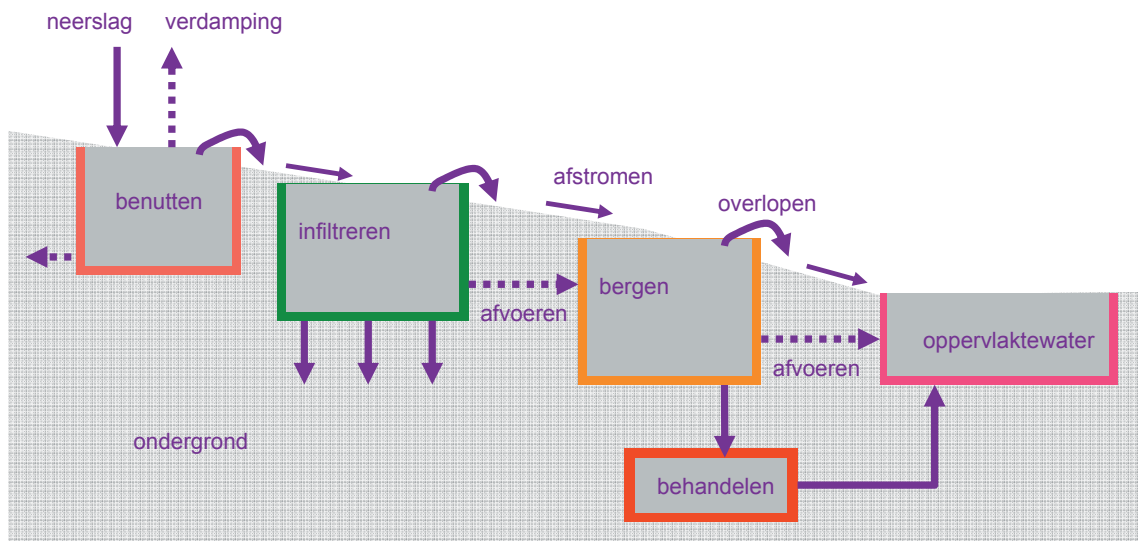
BIJLAGE 6

OPZET MONITORINGS-/MEETPROTOCOL

PROJECT 'DATABASE REGENWATER'

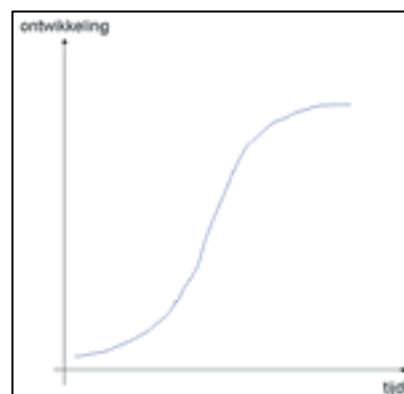
INLEIDING

Het waterbeleid in Nederland richt zich op het scheiden en gescheiden houden van regenwater en afvalwater en de zuivering ervan. Regenwatervoorzieningen kunnen het regenwater benutten, bergen, infiltreren en/of afvoeren, in steeds grotere mate wordt een zuiverende werking aan de regenwatervoorziening toegeschreven om aan de beleidsdoelstellingen te voldoen.

WEGEN VAN HET REGENWATER**IMPLEMENTATIE VAN ZUIVERENDE VOORZIENINGEN, WAAR STAAN WE NU?**

Zuiveringsmethodieken voor regenwater staat in Nederland nog in de kinderschoenen maar wordt op steeds grotere schaal toegepast. De ervaringen met het functioneren van deze voorzieningen is sterk afhankelijk per voorziening (zo is bijvoorbeeld van bodempassage meer bekend dan van lamellenfilters). In het algemeen is de ervaring over het lange termijn functioneren in Nederland relatief beperkt. Het eind van de ontwikkelingscurve is daarmee dus zeker nog niet bereikt.

De behoefte aan ervaringen uit binnen- en buitenland en monitoringsresultaten met betrekking tot ontwerp, aanleg en beheer neemt toe met de toenemende toepassing van de zuiveringsvoorzieningen mede aangespoord door beleidskaders zoals de kaderrichtlijn water.

**Ontwikkelingscurve**

WAAROM MONITORING?

Inzicht in het kwantitatief en kwalitatief functioneren van regenwatersystemen is in algemene zin wenselijk. Met name als er sprake is van een nieuw product of specifieke omstandigheden (bv: kwetsbaar gebied of een verhoogd risico op calamiteiten) dan wordt monitoring aanbevolen. Aangezien veel zuiverende voorzieningen voor regenwater nog maar net in Nederland zijn geïntroduceerd is er nog niet veel nationale ervaring opgedaan met deze voorzieningen. Met monitoring kan bijvoorbeeld worden vastgesteld of deze voorzieningen hydraulisch of milieuhygiënisch zoals ontworpen functioneren, wat de behaalde rendementen zijn en welk beheer nodig is om het functioneren te waarborgen. In deze memo wordt beschreven hoe gemeten kan worden en welke monitoringactiviteiten hiervoor nodig zijn. Afhankelijk van het soort voorziening kunnen de volgende metingen wenselijk zijn:

1. Metingen naar de neerslag en de afvoer naar de voorziening
2. Meten van de waterstanden en of waterkwaliteit bovenstrooms en benedenstrooms van de voorziening alsmede in de voorziening zelf
3. Meten van de grondwaterstanden en de grondwaterkwaliteit in de omgeving
4. Metingen naar de doorlatendheden/filtratiesnelheid van de voorziening en de afname ervan in de tijd
5. Metingen naar de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater
6. Vragen omwonenden naar ervaringen
7. Regelmatige inspecties

In het kader van het project 'zuiverende werking regenwatersysteem' van stowa zijn diversen monitoringsprogramma's beschouwd waar veel aandachtspunten voor monitoring naar voren komen. Zo is het van groot bij monitoring om een goede nul- of referentiemeting uit te voeren indien men het functioneren in de tijd wil gaan beoordelen.

Bij het monitoren van de voorzieningen dient bij voorkeur volgens een protocol gewerkt te worden. Het protocol maakt het mogelijk om monitoringen van verschillende locaties en voorzieningen met elkaar te vergelijken.

MEETPROTOCOL

STAPPENPLAN

Voor een inzicht in het functioneren van regenwatersystemen dienen grofweg de volgende stappen te worden doorlopen:

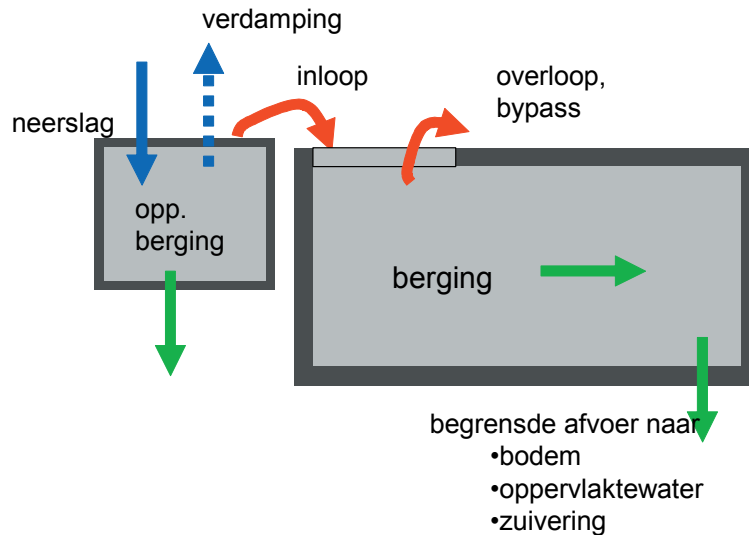
1. Inventarisatie gegevens
2. Selectie geschikte meetlocaties
3. Opstellen meetplan
4. Bemonsteringen
5. Evaluatie en interpretatie

LITERATUUR

1. wRw (2002) Overzicht samenstelling afstromend regenwater, (Boogaard, F.C, Jong de, S.P. Tauw bv), Rapport R001-3934314FCB-D01-U, Utrecht
2. wRw (2003) (2003), Beslisboom aan- en afkoppelen verharde oppervlakken 2003, (Boogaard, F.C., Do, T.T. Tauw bv), Rapport R001-425929TTD-D01-U.,
3. Stowa (2004), Omgaan met hemelwater bij bedrijfs- en bedrijventerreinen, Rapportnummer 2004-23, ISBN 90.5773.257.2, Utrecht.
4. Stowa (2007), zuiverende werking regenwatervoorzieningen, Utrecht.
5. Boogaard, F.C (2005), De vuilemissie van regenwaterstelsels, rioleringswetenschappen, nr.5, pp. 28-40

PRINCIPE VAN REGENWATERBEHANDELING

Het principe van regenwaterbehandeling is een voorziening met gereguleerd (begrensd) debiet en een overloop die slechts een paar keer per jaar mag werken. De voorziening is in principe aangesloten op een inzamelsysteem met een eigen berging, zoals bij een infiltratie- en transportstelsel.

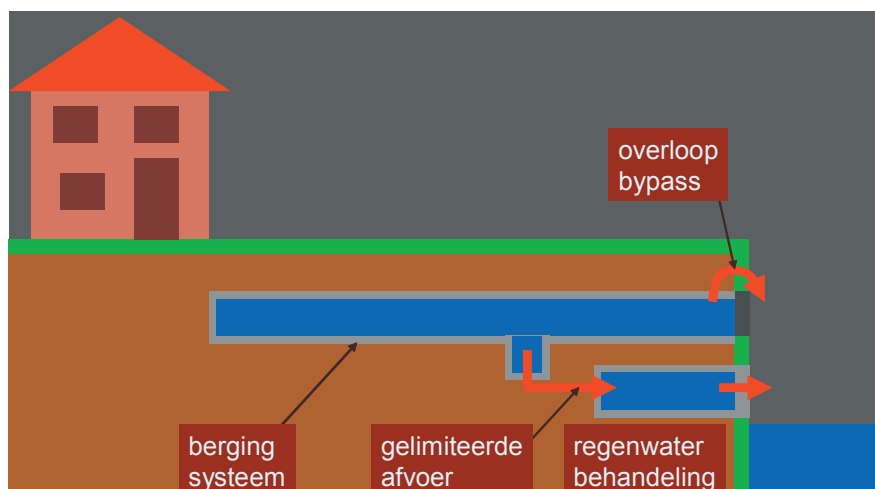


Principe van behandelen van regenwater

Bij het behandelen van regenwater is het belangrijk dat een voorziening niet kan uitspoeien, omdat de voorziening vooral slecht bezinkbare (makkelijk opwoelbare) deeltjes afvangt. Het begrenzen van de afvoer en de toepassing van een bypass is daarom vaak nodig.

Het is niet mogelijk om een zuiverende voorziening voor grote afvoerende oppervlakken te dimensioneren op extreem hoge regenintensiteiten. Men accepteert daarom dat een deel van het regenwater kan overlopen via de overstorten van het inzamelsysteem en/of de bypass van de voorziening.

VOORBEELD VAN DECENTRAAL EN ONDERGRONDS BEHANDELLEN VAN REGENWATER



KOSTENEFFECTIEVE MONITORING: FRACTIEANALYSE

De laatste jaren wordt relatief meer onderzoek verricht naar het functioneren van randvoorzieningen. In opdracht van organisaties als RIONED en STOWA worden evaluaties van onderzoeksprojecten uitgevoerd waarbij helaas vaak wordt geconstateerd dat kostbare metingen vaak niet het gewenste resultaat opleveren. Specifiek voor de monitoring betekent dit dat de steekbemonstering van het influent en effluent niet zullen leiden tot het gewenste inzicht in het werkelijke zuiveringsrendement van deze randvoorzieningen.

Uit onderzoek blijkt ('vuilemissie van regenwaterstelsels', 2005) dat de bandbreedtes van de concentraties van de diverse stoffen (min. en max.) per bui en binnen een bui aanzienlijk kunnen verschillen (soms factor 1000), dit betekent in de praktijk dat op basis van steekmonsters weinig concreets kan worden gezegd over het functioneren van bezinkingsvoorzieningen. Hiertoe dient continue te worden gemeten aan de vuilemissie (kwaliteit en kwantiteit) maar dit vraagt echter om grote (financiële) inspanningen. Bovendien stuit steekbemonstering vaak op organisatorische moeilijkheden aangezien bij neerslag snel tot monsternamen dient te worden overgegaan met weinig voorbereidingstijd.

Om binnen de beschikbare middelen een kosteneffectieve monitoring neer te zetten is er ervaring opgedaan met het beoordelen van randvoorzieningen op het afvangen van sediment en de diverse fracties. De metingen worden vergeleken met databases waarin honderden metingen zijn opgenomen naar de kwaliteit en samenstelling van afstromend regenwater. Op basis hiervan kunnen uitspraken worden gedaan over het theoretisch en praktisch functioneren van deze randvoorzieningen.

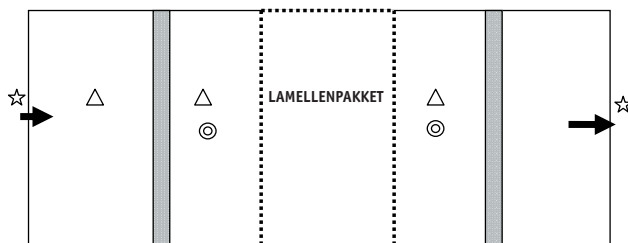
VOORBEELD MINIMAAL MEETPLAN LAMELLENAFSCHEIDER

Werkzaamheden

- Waterkwaliteitsmetingen na één jaar functioneren (dit moet tijdens neerslag zijn en afstroming van regenwater). Bij voorkeur volumeproportioneel, alternatief zijn steekmonsters waarmee wordt gekeken of er stoffen in extreem hoge mate aanwezig zijn. Zowel het oppervlaktewater als het influent en effluent worden bemonsterd
- Eén slibmeting tijdens het eerste jaar, hierbij zal tijdens de twee metingen op drie locaties in de lamellenseparator een slibmonster genomen worden
- Regelmatig worden de voorzieningen visueel gecontroleerd. Hierbij wordt onder andere gekeken naar de slibdikte.

SCHEMATISCHE WEERGAVEN VOORZIENING MET AANGEGEVEN WAAR DE MONSTERS KUNNEN WORDEN GENOMEN.

DE PIJLEN GEVEN DE STROOMRICHTING AAN



- ☆ = Watermonster
- ⊙ = Slibmonster kwaliteit
- △ = Slibmonster kwantiteit (allen zeefkromme)

ANALYSE

De analyses worden gedaan naar de belangrijkste stoffen in afstromend regenwater.

De watermonsters zullen in eerste instantie worden geanalyseerd op de volgende parameters:

- Zuurgraad, zuurstof, geleiding (wordt bepaald in het veld)
- Sulfaat
- Nitraat
- Minerale olie
- Bezinkbare stoffen
- Individuele PAK of PAK-16
- Pakket acht metalen (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)
- EOX

EOX is een indicatieparameter voor monocyclische aromatische koolwaterstoffen.

Mocht uit analyse van de nulsituatie blijken dat er stoffen beneden de detectiegrens zijn, zullen deze in het vervolg niet worden meegenomen bij de analyse van de monsters.

De slibmonsters zullen worden geanalyseerd op de volgende parameters:

- Pakket acht metalen (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)
- PAK 10 VROM
- Minerale olie GC
- Korrelgrootteverdeling

BEPALEN DOORLATENDHEID

De doorlatendheid van ondergrond kan aan de hand van de volgende informatie worden bepaald:

- Bepalen grondsoorten af te leiden uit een bodemkaart;
- Analyseren van zeefkrommen van bodemmonster;
- Uitvoeren infiltratiemetingen in het veld.

Vanzelfsprekend dienen de eigenschappen van de bodem te worden bepaald rond het niveau waarop de voorziening wordt aangelegd. Het meten in het veld geeft de meest nauwkeurige benadering. Het noodzakelijk aantal meetpunten is afhankelijk van de homogeniteit van de opbouw van de ondergrond.

Er zijn groot aantal methoden om metingen uit te voeren. De meest bekende methoden voor het meten van de verzadigde doorlatendheid in de onverzadigde zone (boven de grondwaterspiegel) zijn de omgekeerde boorgat methode en de infiltrometer proef.

Met de *omgekeerde boorgatmethode* wordt een filter geplaatst in een boorgat tot een diepte van maximaal 2 m. Voor een meting wordt dit filter wordt gevuld met water. De snelheid waarmee het water wegzakt in de bodem is een maat voor de doorlatendheid. Deze proef dient een aantal keren te worden herhaald om de bodem rond het filter te verzadigen.

Met de *infiltrometer* proef wordt de zaksnelheid van het water gemeten met een ring. De proef is ook geschikt om verticale doorlatendheden in een horizontaal gelaagde bodemopbouw te meten. Om randeffect te beperken kan de proef met een dubbele (binnen en buiten) ring worden uitgevoerd. De zaksnelheid wordt dan gemeten in de binnenring.

Bij de interpretatie van de meetgegevens zijn er verschillende benaderingen. Voor een nauwkeurig beeld is het belangrijk dat de spreiding in de meetwaarden niet al te groot is. Om extra veiligheidsmarges in te bouwen wordt in de praktijk vaak uitgegaan van de minimaal gemeten waarde ipv bijvoorbeeld de gemiddelde waarde.

Bij een *zeefkromme* hoeft in het veld alleen maar een grondmonster te worden genomen, dit kan op elke gewenste diepte. De nabewerking in een laboratorium is echter nogal bewerkelijk. Er zijn verschillende uitwerkingsmethoden. Deze methode is alleen geschikt voor redelijk tot goed doorlatende gronden. Deze benadering is minder nauwkeurig dan een meting in het veld.

Een eerste schatting van de doorlatendheid van de ondergrond kan worden gemaakt op basis van bodemkaarten.

Het is belangrijk om de doorlatendheid in de praktijk door metingen te bepalen. Het aantal benodigde meetpunten hangt daarbij af van de grilligheid van de bodemgesteldheid. Als er geen uniform beeld ontstaat over de bodemgesteldheid rondom een voorziening dan is het verstandig om enerzijds extra veiligheidsmaatregelen aan te nemen in de berekening en anderzijds voorzieningen te kiezen waarin het water zich gemakkelijk kan verdelen.

BIJLAGE 7

VERSLAG WORKSHOP

	Verslag	Bijeenkomst begeleidingscommissie		
	Aanwezig	Bert Palsma Ton Beenen Tom Dekker Floris Boogaard Andre Oldenkamp Robin Bos Thuy Do Henk Velthorst George Stockel Gedrik Bruins	Stowa Rioned Aquifer Tauw bv Tauw bv HHNK HDSR Arnhem Bergen NH WRD	Opgesteld door J. (Jeroen) Rombout Doorkiesnummer (020) 606 32 14 E-mail jeroen.rombout@tauw.nl
	Afwezig	Gerard ten Bolscher Ben Jan Weener Michiel Rijdsijk	Rijssen WRIJ Utrecht	
	Onderwerp Verslag Bijeenkomst begeleidingscommissie Datum bespreking 12 april 2007 Plaats Utrecht (Stowa) Kopie aan Begeleidingscommissie			
	Datum 13 april 2007 Ons kenmerk M002-4445977JNR-V01			

Naar aanleiding van het Stowa project over zuiverende voorzieningen voor afstromende regenwater vond op 12 april jl. de tweede bijeenkomst plaats van de begeleidingscommissie. Het doel van de bijeenkomst was:

- Het bespreken van de stand van zaken;
 - Toelichting rapportage
 - Praktijkvoorbeelden
- Bespreken van reacties en aanvullingen op de rapportages;
- Afspraken maken over de voortgang.

OPMERKINGEN VAN BC, HOOFDLIJNEN

- Het gedeelte over beleid zal uit de rapportage worden gehaald en worden behandeld in een aparte rapportage, hierbij zal eveneens worden ingegaan op de ruimtelijke ordening, wetgeving, knelpunten in beleid en processen
- Het monitorings-/meetprotocol dient een prominentere rol te krijgen en per voorziening dient aangegeven te worden hoe er gemonitord dient te worden en waar er opgelet moet worden. (Het meetprotocol is bij de wRw ingediend)
- Per voorziening dienen de criteria die in tabel 9.1 worden benoemd, beschreven te worden
- De eerste versie van het rapport zal een “papieren” versie zijn
- Het netwerk en kennisverspreiding is van belang: er wordt een lijst gemaakt van welke personen benaderd zijn voor de factsheets, welke (monitorings-)projecten er lopen, interessante sites e.d.
- Kwaliteit afstromend regenwater uitzetten tegenover het oppervlaktewater

- Processen die spelen per voorziening uiteenzetten en waar mogelijk ook per stof aangeven
- Er wordt een overzicht gegeven van de (getalsmatige) ontwerprichtlijnen zonder daar een waardeoordeel aan toe te kennen.
- Ervaringen dienen centraal te staan, dus niet als bijlage maar als laatste paragraaf in elk hoofdstuk. Hierdoor hoeft alleen de laatste paragraaf van elk hoofdstuk aangepast te worden bij een nieuwe versie. In deze paragraaf worden ook de ervaringen behandeld die nu staan beschreven in de bijlage.
- In het rapport dient de datum aangegeven te worden van het laatste moment waarop informatie is verzameld

VOORTGANG

De begeleidingscommissie komt op 1 juni 2007 weer bijeen. Twee weken voor de bijeenkomst zullen de rapportages (Technisch en beleid) worden toegezonden.

VERSLAG BIJEENKOMST BEGELEIDINGSKOMMISSIE

Verslag	Bijeenkomst begeleidingscommissie	
Aanwezig	Ton Beenen	Rioned
	Tom Dekker	Aquifer
	Floris Boogaard	Tauw bv
	Andre Oldenkamp	Tauw bv
	Michiel Rijdsdijk	Utrecht
	Thuy Do	HDSR
	Henk Velthorst	Arnhem
	Ben Jan Weener	WRIJ
	George Stockel	Bergen NH
	Gerard ten Bolscher	Rijssen
Afwezig	Gedrik Bruins	WRD
	Bert Palsma	Stowa
	Robin Bos	HHNK

Onderwerp Notulen overleg begeleidingscommissie

Datum bespreking 5 oktober 2006

Plaats Utrecht

Kopie aan Begeleidingscommissie

Datum 6 oktober 2006

Ons kenmerk R007-4445977JNR-sec-V01-NL

Naar aanleiding van het Stowa project over zuiverende voorzieningen voor afstromende regenwater vond op 5 oktober jl. de eerste bijeenkomst plaats van de begeleidingscommissie. Het doel van de bijeenkomst was:

- Kennis te maken met de leden uit de begeleidingscommissie
- Te achterhalen welke vragen er zijn binnen de commissie met betrekking tot dit onderwerp
- En te kijken of het plan van aanpak hiermee volstaat

OPMERKINGEN VAN BC

- De voorzieningen die onderzocht worden in het onderzoek zijn alle end of pipe voorzieningen, voorzieningen dicht bij de bron (o.a. bladvanger) worden niet meegenomen
- Het project zal duren tot halverwege 2007. Meetprotocollen zullen bij voorkeur eerder gerealiseerd worden
- Het onderzoek zal niet alleen bestaan uit een literatuurstudie. Met name nationale onderzoeken en ervaringen uit de praktijk zullen verwerkt worden in het rapport
- Het afkoppelen van regenwater gebeurt niet alleen n.a.v. de basisinspanning maar ook om regenwateroverlast te voorkomen. Om overlast te voorkomen heb je een robuuster systeem nodig
- Er kan worden uitgegaan van een vaste verdeling mbt zuivering en directe lozing (bv 80-20 % regel. Gekeken moet worden welke voorziening en aanpak (voor ontwerp, aanleg en beheer) in de meeste gevallen toegepast kan worden voor een specifieke locatie. Op deze manier ontstaat er uniformiteit
- IT riolen worden niet meegenomen als zuiverende voorziening, dit wordt opgepakt binnen andere projecten (RIONED, DIRCES). Kwaliteit staat bij dit onderzoek voorop, kwantiteit is echter ook belangrijk

- Criteria voor beslissing voor de zuiveringsmethode zijn: kosten, ruimtebeslag, inpasingsmogelijkheden, beheer, innovatie, geohydrologische omstandigheden maar ook esthetica (bv bezinkbak Julianapark)
- In algemene zin is nog niet duidelijk wat de kosten en baten zijn van deze voorzieningen, de resultaten van dit plan van aanpak zal hier wel inzicht in geven

Antwoorden die gegevens dienen te worden m.b.v. het rapport

- Wat proberen we te bereiken met de voorziening en waar moet de voorziening aan voldoen?
- Er is behoefte aan gedegen factsheets en onafhankelijk onderzoek naar de zuiverende voorzieningen
- Meetprotocollen dienen opgesteld te worden zodat de metingen goed worden verricht en projecten onderling vergelijkbaar zijn
- Richtlijnen voor het ontwerp, aanleg en beheer
- Meer kennis over de aanleg- en beheerskosten

VOORTGANG

Gedurende de loop van het project zal de begeleidingscommissie nog samen komen, op een nader te bepalen datum, om kennis uit te wisselen en te bespreken of de gekozen richting de juiste.

Het uiteindelijke resultaat zal bestaan uit een rapportage die op overzichtelijke wijze inzicht moet geven in de bestaande kennis en kennisleemten. Gezien de grote hoeveelheid beschikbare informatie en diverse interessen vanuit verschillende invalshoeken kunnen in de toekomst de resultaten digitaal met zoekacties worden weergegeven.

BIJLAGE 8

BRONMAATREGELLEN

BRONMAATREGELLEN (UIT WRW BESLISBOOM)

Het voorkomen van verontreinigingen is beter dan het bestrijden ervan. Zo dient bij duurzaam waterbeheer het gebruik van uitlogende materialen, chemische bestrijdingsmiddelen en milieubelastende gladheidbestrijding zoveel mogelijk te worden voorkomen. De hondenvoerproblematiek verdient in veel woonwijken ook aandacht.

Het treffen van milieuvriendelijke (bron-)maatregelen levert in sommige gevallen problemen op aangezien alternatieven niet voor handen zijn, minder effectief zijn, en grotere fysieke en financiële inspanningen vergen. Goede alternatieven voor strooizouten worden bijvoorbeeld onderzocht maar vooralsnog blijkt het minimaliseren en effectief omgaan met zouten een goede aanbeveling (inachtneming van mogelijke risico's als ongelukken).

Deze bronmaatregelen zijn overigens in het algemeen wenselijk dus niet specifiek bij afgekoppeld verhard oppervlak. De gemeente kan deze bronmaatregelen in het beheer van de openbare ruimte meenemen.

Bronmaatregelen kunnen bestaan uit:

- Het voorkomen en of vervangen van uitlogende materialen
- Aanwijzen van hondenuitlaatplaatsen
- Emissie bij handelingen als autowassen beperken (bijvoorbeeld autowasplaatsen, korting op autowasserettes, ecologische zeep)
- Het beperken en effectief toepassen van gladheidbestrijding
- Onkruidbestrijding op verantwoorde wijze (chemische onkruidbestrijding is een milieuvriendelijk alternatief; gebruiksvriendelijkheid, hinder en kosten buiten beschouwing gelaten)

De feitelijke invulling van bronmaatregelen kan in de vergunning worden opgenomen.

VOORBEELDEN

Coaten dakgoten Den Bosch

De coating was een proef die binnen het brede communicatietraject viel voor de pilot afkoppelen 'de Vliert'. Er gingen echter een aantal zaken mis.

- De dakgoten zijn goed schoongemaakt (staalborstels) voordat ze de coating aanbrachten (dit leidde tot onwenselijke emissie), echter doordat er erkers waren en niet alle mensen meewerkten is de coating niet overal goed aangebracht. Een stuk of 5 mensen van de 80 woningen hebben de gemeente gebeld dat de coating is losgelaten 'er hingen lappen coating aan de dakgoot'
- Ze hebben op de lege plekken nieuwe coating aangebracht die echter ook meteen losliet, de gemeente heeft zich hierna beraamd en het coaten als niet kosteneffectief bestempeld om de volgende redenen:

1. in de praktijk is het coaten onhandig vanwege de onbereidwilligheid van sommige bewoners, woningbouwcoöperatie wilde niets meebetalen (paste niet in hun beheerspot/frequentie vervangen dakgoten), de erkers en hoeken zijn lastig te bewerken, er is niet Arbotechnisch gewerkt dus moesten er steigers en hoogwerkers aan te pas komen dat het geheel zeer kostenintensief maakte ondanks ze gebruik hebben gemaakt van de sociale werkplaats.
2. uit metingen bleek dat de kwaliteit van het afstromend regenwater van gecoate dakgoten en niet gecoate dakgoten vergelijkbaar was en de doorslagtermijn van de bodem lag in de orde van honderden jaren (hierover bestaat echter discussie, zie artikel wadis laten nauwelijks metalen door dat je hebt ontvangen van Andrea). Dit betekent dat ook al zou het coaten wel effectief zijn de doorslagtermijn wordt verhoogd maar nog steeds veel hoger is dan de vervangingstermijn van riolen en deze end of pipe maatregel zou worden uitgevoerd en de kosten van coaten dus puur extra kosten zijn
3. gecoate dakgoten of het niet aanbrengen van zinken dakgoten wordt daarom in de gemeente Den Bosch alleen bij nieuwbouw toegepast en niet in bestaande wijken.

Coaten dakgoten Amsterdam

De volgende conclusie is getrokken uit een onderzoek naar de zinkemissie van zinken dakgoten.



ZINKEMISSIE, ZINKVRACHT EN PH

- Het samengesteld gewogen gemiddelde van de zinkconcentratie in het atmosferische depositie is 201 µg/l
- In december 2001 en juli 2002 zijn hoge zinkconcentraties gevonden in de atmosferische depositie: 1.630 en 666 µg/l
- De zinkconcentratie van het afstromende regenwater wordt door een onbeklede zinken dakgoot met gemiddeld 763 µg/l verhoogd
- De zinkconcentratie van het afstromende regenwater wordt door een met EPDM-folie beklede zinken dakgoot met gemiddeld 6 µg/l verhoogd
- De atmosferische depositie bedraagt 0,176 gram per m² oppervlak per jaar
- De zinkvracht die aan het afstromende regenwater wordt toegevoegd door een zinken dakgoot is 5,8 gram per m² dakgoot per jaar (netto zinkvracht)
- De zinkvracht die aan het afstromende regenwater wordt toegevoegd door een met EPDM-folie beklede dakgoot is 0,04 gram per m² dakgoot per jaar (netto zinkvracht)
- De pH van het referentie regenwater varieerde van 5,2 tot 8,4 met een gemiddelde waarde van 6,5
- De pH van het regenwater dat is afgestroomd van de onbeklede zinken dakgoot varieerde van 4,3 tot 7,6 met een gemiddelde waarde van 6,5
- De pH van het regenwater dat is afgestroomd van de met EPDM-folie beklede zinken dakgoot varieerde van 2,7 tot 6,9 met een gemiddelde waarde van 5,4

TABEL 5.1

KERNCIJFERS PRAKTIJKPROEF ZINKEMISSIE

	gemiddelde zinkconcentratie ($\mu\text{g/l}$)	gemiddelde zinkvracht (g/jaar)
onbeklede zinken dakgoot	763 (netto*)	5,8 per m^2 dakgoot (netto*)
met EPDM-folie beklede zinken dakgoot	6 (netto*)	0,04 per m^2 dakgoot (netto*)
atmosferische depositie	201	0,176 per m^2 oppervlak

*) Netto = concentratieverhoging door afstroming via dak en goot.

LOODEMISSIE

- De loodconcentratie in het regenwater dat afstroomd via de dakgoten is gemiddeld $20 \mu\text{g/l}$
- Het samengesteld gewogen gemiddelde loodconcentratie aan atmosferische depositie was over de maanden september 2001 tot en met januari 2002 $39 \mu\text{g/l}$ regenwater. Van februari 2002 tot en met augustus 2002 lag de concentratie rond of beneden de detectiegrens van $7 \mu\text{g/l}$ regenwater

VERGELIJKING EMISSIE EN LOZINGSEISEN

- De atmosferische depositie zink in regenwater ligt normaliter onder de lozingseis van regenwater naar oppervlaktewater voor zink van $200 \mu\text{g/l}$. Incidenteel kan de atmosferische depositie ver boven deze lozingseis uitkomen
- De zinkconcentratie van het regenwater dat afstroomt van de onbeklede zinken dakgoot ligt meestal (ver) boven de lozingseis
- De zinkconcentratie van het regenwater dat afstroomt van de met EPDM-folie beklede zinken dakgoot ligt meestal onder de lozingseis van $200 \mu\text{g/l}$
- De loodconcentratie van het afstromende regenwater blijft ruim onder de lozingseis van $100 \mu\text{g/l}$

BIJLAGE 9

LIJST INSTANTIES MET DIRECTE INBRENG

Gemeente	Binnenmaas
Gemeente	Schagen
Gemeente	Utrecht
Gemeente	Katwijk
Gemeente	Velsen
Gemeente	Amsterdam
Gemeente	Castricum
Gemeente	Hoorn
Gemeente	Heiloo
Gemeente	Bergen
Gemeente	Enschede
Gemeente	Diepenheim
Gemeente	Almelo
Gemeente	Oostzaan
Gemeente	Renkum
Gemeente	Spijknisse
Gemeente	Den Bosch
Gemeente	Hilversum
Gemeente	Rheden
Gemeente	Arnhem
Gemeente	Delft
Gemeente	Nijmegen
Gemeente	Den Haag
Gemeente	Tholen
Gemeente	Almere
Gemeente	Haarlem
Hoogheemraadschap	Hollands Noorderkwartier
Hoogheemraadschap	Rijnland
Hoogheemraadschap	Reest en Wieden
Hoogheemraadschap	Waternet
Hoogheemraadschap	Regge en Dinkel
Hoogheemraadschap	De Stichtse Rijnlanden
Hoogheemraadschap	Delfland
Waterschapsbedrijf	Limburg
Rijkswaterstaat	Zuid-Holland

Royal Haskoning

Tauw bv

Tauw bv

Facet international

AQA Hydrasep

3D water

3D water

Bijlagen

Dhr. J. Langeveld

Dhr. R. Wentink

Dhr. J. Kluck

Dhr. B. Moonen

Dhr. S. Brandon

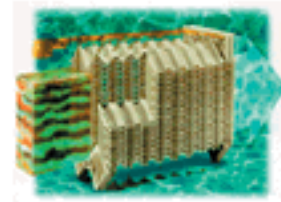
Dhr. C. van Gaalen

Dhr. E.B. Ros

BIJLAGE 10

VOORBEELDEN EN FACTSHEETS

LAMELLENSEPARATOR



DEFINITIE

Voor een eerste beeldvorming is hier onderstaand een definitie gegeven van lamellenseparator:

Een lamellenseparator is een voorziening waarmee verontreinigingen uit het hemelwater kunnen worden verwijderd door middel van bezinking en opdrijving. Het bezinkingsoppervlak wordt vergroot door het plaatsen van de lamellen. Daarnaast zorgen de lamellen voor laminaire stroming. Beide effecten dragen bij aan een verbeterde bezinking en opdrijving.

Voordelen

- Relatief goedkope voorziening
- Eenvoudig onderhoud, met eigen apparatuur te doen
- Klein oppervlak nodig voor plaatsing, daardoor op veel plaatsen toe te passen
- De monitoring/werking is te controleren door visuele inspectie

Nadelen

- Verstopping gevoelig
- Kan een beperkte oppervlakte op worden aangesloten
- Zonder een debietbegrenzer kan het systeem eenvoudig overbelast worden

Locatie karakteristieken

- Alle bodems
- Klein ruimtebeslag
- Geen grondwater beperkingen

Verhard oppervlak

- Dun/dicht bebouwd
- Woonwijk
- Lokale weg
- snelweg
- Bedrijventerrein





Verontreiniging verwijdering


- Gebonden: Hoog
- Opgelost: Laag

FACTSHEETS LAMELLENFILTERS


FACTSHEET Lamellenseparator te Hoorn	
Aangemaakt op: 4-10-2008	
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	Gemeente Hoorn
Locatie	Willemsweg, t.p.v. kantoor HR&K
Gebruik	Sinds november 2004
Functie(s)	Zuiveren regenwater afkomstig van dak en parkeerplaats
Aankleding	HR&K heeft voor een lamellenseparator gekozen i.p.v. een andere zuiverende voorziening, om de werking te monitoren en het afstromende regenwater te zuiveren.
Ligging	    <p>Foto: Afvoerend oppervlak, parkeerplaats</p> <p>Foto: Locatie lamellenfilter</p> <p>Foto: Lamellenfilter zonder oekraai</p> <p>Foto: Detail lamellen</p>
Monitoring	Door HR&K is 1 meting gedaan en door Taww is 1 slibanalyse en korrelgrootteverdeling. In de toekomst wordt deze locatie gemonitord. Dit zal gebeuren door Taww met behulp van Stowa en HR&K
Afgekoppeeld oppervlak	Totale oppervlak: 3700 m ² Dak is 525 m ² Parkeerplaats is 2775 m ²
Beheer aangesloten oppervlak	De kolken worden gereinigd volgens het onderhoudsregime van de gemeente. In 2005 is de parkeerplaats drie keer gevoegd.
Producent en type	Facet, type MAS-NG
Afmetingen voorziening	3300x535x1400 mm
Inhoud	2,93 m ³
Diepgang	0,75 mm
Overige onderdelen watersysteem	Kolken en lijngoot
Overige gegevens	De voorziening is sinds de realisatie niet beheert, door de producent was aangegeven dat dit niet nodig was.
Actoren	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Taww en Stowa.
Kosten (EUR)	Onbekend
Financiering	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Documentatie	www.noskd.nl =PROA en www.facetindustrial.nl . Over de lamellenseparator in Hoorn is geen onderzoeksrapport beschikbaar.
Subsidies	Onbekend


FACTSHEET Lamellenseparator te Puttershoek	
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	Gemeente Binnenmaas, te Puttershoek
Locatie	Op het terrein van de Suikerunie
Gebruik	+/- 1 jaar
Functie(s)	Zuiveren regenwater afkomstig van dak en parkeerplaats
Aanleiding	De voorziening is geplaatst op advies van het waterschap
Ligging	    <p>Foto: Afvoerend oppervlak, weg</p> <p>Foto: Afvoerend oppervlak, parkeerplaats en opslagruimte.</p> <p>Foto: Detail lamellenpakket vanuit de voorbezinkruimte</p> <p>Foto: Detail lamellen</p>
Monitoring	N.v.t.
Afgekoppeld oppervlak	De parkeerplaats en het opslagterrein zijn aangekoppeld op de lamellenseparator.
Beheer aangesloten oppervlak	Onbekend
Producent en type	3D water
Afmetingen voorziening	Onbekend
Inhoud	Onbekend
Berging	Onbekend
Overige onderdelen watersysteem	Kolken
Overige gegevens	De Suikerunie heeft gekozen voor een lamellenseparator i.p.v. een andere zuiverende voorziening aangezien het geadviseerd werd door het waterschap.
Actoren	Suikerunie en de gemeente Binnenmaas
Kosten (EURO)	Onbekend
Financiering	Suikerunie
Documentatie	www.rioned.nl → PROA en www.3dwater.nl .
Subsidies	Onbekend

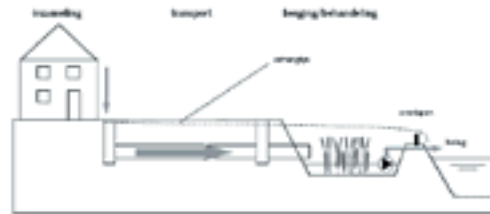
FACTSHEET Lamellenseparator te Schagen	
Aangemaakt op 9-10-2006	
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	Gemeente Schagen
Locatie	Hofstraat
Gebruik	+/- 1 jaar
Functie(s)	Zuiveren regenwater afkomstig van dak en parkeerplaats
Aanleiding	De voorziening is geplaatst op advies van HHNK
Ligging	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Foto: Afvoerend oppervlak, parkeerplaats</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Foto: Afvoerend oppervlak, weg</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Foto: Putdeksel van de voorziening, welke dicht gesmeerd is met koudasfalt</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Foto: Lozingspunt van de voorziening</p> </div> </div>
Monitoring	N.v.t.
Afgekoppeld oppervlak	Parkeerterrein en gemeentelijke weg. Momenteel is de oppervlakte 6500 m ² en wordt in de toekomst mogelijk uitgebreid tot 9000 m ² , hier is de ls op berekend.
Beheer aangesloten oppvl.	De oppervlakte wordt geborsteld
Producent en type	Facet, MAS-NS 15
Afmetingen voorziening	1870x635x3300
Inhoud	3,92 m ³
Berging	0,44 mm (nu nog 0,65 mm)
Overige onderdelen systeem	Kolken
Overige gegevens	De deksel van de voorziening is dicht gesmeerd met koudasfalt
Actoren	Gemeente Schagen en HHNK
Kosten (EURO)	Kosten put €7500,- (put+ aanleg € 0,000,-)
Financiëring	Gemeente Schagen
Documentatie	www.rioned.nl→PROA en www.facetindustrial.nl.
Subsidies	Onbekend

FACTSHEET Lamellenseparator te Utrecht	
Aangemaakt op: 9-10-2006	
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	Utrecht
Locatie	Bij het stadion Galgenwaard
Gebruik	sinds 2002
Functie(s)	Zuiveren van het regenwater afkomstig van het stadionsdak en parkeerplaats
Aanleiding	Door gebrek aan ruimte, om het regenwater te zuiveren en om innovatie toe te passen is er gekozen voor een lamellenseparator
Ligging	
Monitoring	In het begin zijn er een aantal keer een paar monsters genomen. Dit is niet gebeurt volgens een vast protocol, de gegevens van de metingen zijn bekend bij de gemeente Utrecht.
Afgekoppeld oppervlak	1x 1,2 ha parking en 0,8 ha dak 1x 1,6 ha parking en 1,1 ha dak
Beheer aangesloten oppervlak	Er wordt na elk evenement geveegd.
Producent en type	AQA type onbekend
Afmetingen voorziening	1000*5000*2700
Inhoud	13,5 m ³
Berging	0,68 mm
Overige onderdelen watersysteem	Kolken
Overige gegevens	Er bevinden zich twee voorzieningen op het terrein. Bij één voorziening is er in de afvoerleiding een paal geslagen.
Actoren	Utrecht en HDSR
Kosten (EURO)	Aanleg +/- € 35.000,-
Financiëring	Utrecht en HDSR
Documentatie	www.rioned.nl→PROA en www.aqa.nl
Subsidies	N.v.t.

FACTSHEET Lamellenseparator te Katwijk	
	Aangemaakt op: 9-10-2006
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	Katwijk
Locatie	Bedrijventerrein 1 Heen
Gebruik	2005
Functie(s)	Zuiveren van afstromend regenwater
Aanleiding	Er is voor een lamellenseparator gekozen om het zuiveringsrendement te bepalen in kader van onderzoek. Daarnaast door de beperkte beschikbare en om innovatie toe te passen.
Ligging	
Monitoring	Medio juli 2006 wordt voor een jaar een locatie gemonitord
Afgekoppeld oppervlak	Een bedrijfs(ven)terrein is aangekoppeld op de voorziening 42 ha
Beheer aangesloten oppervlak	Het beheer vindt plaats met bestrijdingsmiddelen en d.m.v. vegen
Producent en type	AQA, hydrocompact
Afmetingen voorziening	1 * 2400x2400x6400 1 * 2400x2400x3900 3 * 2400x2600x5900 3 * 2400x2400x2000
Inhoud	
Berging	
Overige onderdelen watersysteem	Onbekend
Overige gegevens	
Actoren	Gemeente Katwijk en Rijnland
Kosten (EURO)	De prijs voor in totaal 10 voorzieningen is €710.000,-
Financiering	Gemeente Katwijk
Documentatie	www.rioned.nl → PROA en www.aqa.nl .
Subsidies	Onbekend

FACTSHEET Lamellenafscheider/Sorbfilter te Velsen	
	Aangemaakt op 24-10-2006
PROJECT	
Status	In voorbereiding (aanbestedingsfase)
Plaats	Gemeente Velsen
Locatie	Van Dalenlaan te Santpoort-Zuid
Gebruik	Nog niet geplaatst
Functie(s)	Zuiveren regenwater afkomstig van openbare verharding (Wegen, trottoirs en parkeerplaatsen) en daken (voorzien van zinken dakgoten)
Aanleiding	Zinken dakgoten mogen o.g.v. afkoppelbeslisboom wRw niet rechtstreeks worden afgekoppeld. Door plaatsing van de lamellenafscheider met SorbXfilter stemt waterkwaliteitsbeheerder (HH van Rijnland) in met het afkoppelen van zinken dakgoten.
Ligging	 <p>Lamellenfilter wordt naast de weg geplaatst in het plantsoen. Foto: bestaande situatie Van Dalen met af te koppelen dakoppervlakken (flats)</p>
Monitoring	Het Hoogheemraadschap van Rijnland zal de reductie van de vuivracht monitoren. Een monitoringsprogramma dient nog opgezet te worden.
Afgekoppeld oppervlak	2,3 ha.
Beheer aangesloten oppervlak	Oppervlak wordt geborsteld
Producent en type	3D-Water, type 3D Combi-afkoppelsysteem
Afmetingen voorziening	5000 * 1600 * 2200 mm (inwendig)
Inhoud	ca. 13 m ³
Berging	0,57 mm
Overige onderdelen watersysteem	
Overige gegevens	
Actoren	Gemeente Velsen, hoogheemraadschap van Rijnland
Kosten (EURO)	€ 25.000,- (ex. BTW en ex. plaatsing)
Financiëring	Gemeente Velsen
Documentatie	www.3dwater.nl en www.rioned.nl →PROA
Subsidies	Geen

FACTSHEET Lamellenseparator te Moorveld, Geulle		Aangemaakt op: 19-01-2007
PROJECT		
Status	Gerealiseerd	
Plaats	Geulle	
Locatie	Moorveld	
Gebruik	Woonstraten	
Functie(s)	Berging, voorzuivering en infiltratie van regenwater	
Aanleiding	Capaciteitsproblemen	
Ligging		
Monitoring	Eens per 4 jaar een watermonster	
Afgekoppeld oppervlak	Circa 20.000 m ² daken en wegen	
Beheer aangesloten oppervlak	Onkruid: mechanisch, strooizout niet	
Producent en type	Hydrocompact HR van AQA HydraSep	
Afmetingen voorziening	2,4 x 3,9 x 2,4 m	
Inhoud		
Beeging		
Overige onderdelen watersysteem	Voorcompartment en infiltratiebuffer met diepinfiltratie	
Overige gegevens	voorziening ligt in grondwaterbeschermingsgebied	
Actoren	Gemeente Meerssen, provincie Limburg, waterschap	
Kosten (EURO)		
Financiering	778.000	
Documentatie		
Subsidies	Waterschap aan gemeente: 18.737 euro; overig: niet bekend	

HELOFYTFILTER**Voordelen**

- Een goed ingericht en vormgegeven helofytenfilter verschaft veel belevingswaarde voor mens en dier in de stad en kan ook als recreatieve/esthetische/educatieve functie worden ingericht (denk aan looppaden en informatieborden).
- Het bovengronds gelegen systeem is inzichtelijk, eventuele vervuiling is direct zichtbaar

Nadelen

- Het helofytenfilter veel ruimte in beslag neemt. Of dit ook als nadeel wordt ervaren hangt weer af van de inrichting en inpassing.
- Inrichting en beheer vragen kennis van ecologie en is betrekkelijk arbeidsintensief

Locatie karakteristieken

- Doorlatende bodem (voor vijver)
- Verhang voor inflow en outflow 0-1 m
- Groot ruimtebeslag
- Grondwaterdiepte >1m

Verhardoppervlak

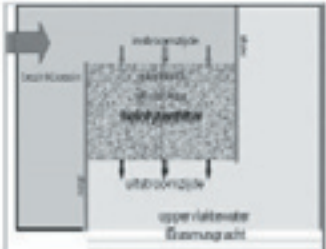
- Dun bebouwd
- Woonwijk
- Lokale weg
- snelweg
- Bedrijventerrein

Verontreiniging verwijdering


- Gebonden: Hoog
- Opgelost: Hoog

FACTSHEETS HELOFYTENFILTERS

FACTSHEET helofytenfilter te Leidsche Rijn (Utrecht)	
	Aangemaakt op: 12-10-2006
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	Utrecht
Locatie	Leidsche Rijn, in de noordwest hoek van de Vinexlocatie
Gebruik	sinds 28 mei 2005
Functie(s)	Zuiveren van plassen en sloten in de Leidsche Rijn
Aanleiding	Het creëren van een gesloten waterhuishouding, wat gezuiverd wordt, zodat er geen gebieds vreemd water ingelaten hoeft te worden.
Opmaak	 
Monitoring	Het helofytenveld is een proeflocatie, waar continu/regelmatig gemonitord wordt.
Afgekoppeld riool en afvalgi openvlak	Af het afgekoppelde openvlak uit Leidsche Rijn
Behoud aangesloten openvlak	Vegen
Productie en type	Verticaal doorstromend helofytenveld
Aanbrengen voorziening	De voorziening is een kleine hectare groot
Inhoud	
Dering	
Overige onderdelen watersysteem	Wadi's, waterdoorlatende verharding en sloten
Overige gegevens	
Ardairn	Gemeente Utrecht, Stowa, CUW en de Europese commissie
Kosten (EUR)	€ 1,4 miljoen
Financiering	Gemeente Utrecht, Stowa en CUW
Documentatie	
Subsidies	Het project wordt voor €570,00,- gesubsidieerd door de Europese commissie.

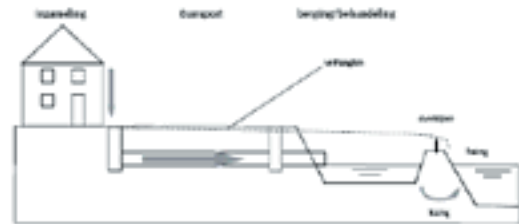
FACISHEET helofytenfilter te Amsterdam	
Aangemaakt op: 10-13-2004	
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	Amsterdam
Locatie	Erasmusgracht
Gebruik	< 1993
Functie(s)	Zuiveren afstromend regenwater
Afmelding	Om te voldoen aan de basisinspanning
Ligging	  
Monitoring	De voorziening is gemonitord van in 1996-1997
Afgekeperde oppervlakte	De aangesloten oppervlakte bestaat uit een woonwijk (1920) en intensieve verkeerswegen en trambaan De totale oppervlakte is 2,37 ha
Eenheid aangesloten oppervlakte	
Productie en type	Helofytenfilter in combinatie met een bezinkbassin.
Afmeldingen voorziening	De voorziening heeft een oppervlakte van 720 m2
Inhoud	
Berging	
Overige onderdeelen watersysteem	Kolken
Overige opmerkingen	
Actoren	Gemeente Amsterdam, waternet
Kosten (EURO)	
Financiering	Gemeente Amsterdam
Documentatie	Artikel neerslagmagazine nr. 6 2004. Zuiveren met helofyten in Amsterdam.
Inclusies	

FACTSHEET helofytenfilter te Echt	
Aangeemaakt op: 17-01-2007	
PROJECT	
Status	Afgerond proefproject
Plaats	Echt
Locatie	Abdy Libosch
Gebruik	Beekwater
Functie(s)	Verlagen gehalten nutriënten en bestrijdingsmiddelen
Aanleiding	Proef helofytenfilter voor laagbelaste waterstromen
Ligging	
Monitoring	6 maal per jaar uitgebreide analyse in- en uitstromend water
Atgekoppeld (soort en omvang) oppervlaktewater	geen, landelijk water
Beheer aangesloten oppervlaktewater	landbouwgebied
Productie en type	
Afmetingen voorziening	5*50 m
Inhoud	
Berging	
Overige onderdelen watersysteem	pomp op zonnepaneel
Overige gegevens	proef mislukt door technische problemen, enige stikstofreductie
Auteurs	Waterschap en (voormalig) Zuiveringschap Limburg
Kosten (FLWO)	
Financiering	waterschap
Documentatie	interne verslagen
Subsidies	geen

FACTSHEET Helofytenfilter te A1 in 't Gooi	
Aangetraakt op: 28-11-2006	
PROJECT	
Statu	Gerealiseerd
Plaats	A1
Locatie	Kilometerak 28.2-28.8
Gebruik	2001
Functie(s)	Zuiveren van het afstromende wegwater
Aanleiding	Er is door de provincie een voorlopige ontheffing gegeven van de verbodsbepaling (dit houdt in dat er geen wegen mogen worden gerealiseerd in een grondwaterbeschermingsgebied) met als een van de voorwaarden dat het afstromende wegwater pas mag worden geloosd na een adequate zuivering.
Ligging	
	
Monitoring	De voorziening is gemonitord van in 2001-2005
Afgeoppeld oppervlak	De aangesloten oppervlakte bestaat uit ZOAB wegdek De totale oppervlakte 1,9 ha
Beheer aangesloten oppervlak	Maandelijks worden de baanvakken geveegd, jaarlijks worden de vluchtstroken dieptegereinigd. De kolken worden daarnaast 1 a 2 keer per jaar gereinigd.
Principe en type	Verticaal doorstromende helofyteninfiltratiesloot
Afmetingen voorziening	De oppervlakte is 250 m ² (41,6 m x 6,1 m)
Inhoud	
Dering	Het systeem kan een maximale hydraulische belasting aan van 0,25 m ³ per m ² per dag in de droge periodes en 0,4 m ³ per m ² per dag
Overslag in bestaand watersysteem	Kolken
Overslag opzetw	
Achtere	Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Universiteit Utrecht
Kosten (EUPC)	€ 30.000,-
Financiering	Ministerie van Verkeer en Waterstaat, wegendistrict Amsterdam, Dienst Noord-Holland
Documentatie	Rapport: K. Tromp, Helofyteninfiltratiesystemen voor zuivering van wegwater, juli 2005
Subsidies	

FACTISHEET helofytenfilter te De Meije	
	Aangemaakt op: 30-11-2006
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	provincie Utrecht
Locatie	in de polder Zegveldbroek, ten westen van Utrecht
Gebruik	
Functie(s)	Zuiveren van gebiedsvreemd infiltraatwater afkomstig van de rivier De Meije
Aanleiding	Verbeteren kwaliteit gebiedsvreemd oppervlaktewater voordat het wordt ingelaten in het natuurreservaat De Meije
Ligging	
Monduring	1989-1990
Afgekoppeld (sloot en omvang) oppendak	Water van de rivier De Meije
Beheer aangeelichten oppendak	
Productie en type	Slotenstelsel met waterplanten: verlengd traject
Afmetingen voor- en op	1,4 ha, lengte van de sloot: 3,6 km
Inhoud	
Bevang	
Overige onderdeelen watersysteem	
Overige gegevens	Verontreinigingen: chloride, sulfaat, bicarbonaat, natrium en fosfaat
Acteren	
Kosten (EURO)	
Financiering	
Documentatie	Proefschrift: A. Meuleman, Performance of treatment wetlands, 1993
Subsidies	

FACTSHEET helofytenfilter te Texel	
	Aangemaakt op: 30-11-2006
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	Texel
Locatie	Evertsteekooog
Maakt	1994
Functie(s)	Nazuivering effluent RWZI Evertsteekooog (45.000 i.e.)
Beleidsdoel	Verbeteren waterkwaliteit effluent RWZI voor E.coli, zuurstof, stikstof, fosfor en zwevend
LOCATIE	
	
MONITORING	
Metingstermijn	1995-1998
Aftekoppeld (soort en omvang) oppervlaktewater	Effluent RWZI: bijna 4000 m ³ /d
Beleids- en/of andere doelen oppervlaktewater	
Productie en type	Voorbezinkbassin, slotensysteem met helofyten (vloeveld) en waterplanten.
Afvalbeheer/voorziening	Voorbezinkbassin: 122 m x 28,5 m, 1,3 ha helofytenfilter: sloten (150 m x 7 m) bestaan uit twee compartimenten, eerste deel met riet en lisdodde, tweede deel met waterplanten, afvoersloot: 120 m x 7 m.
Inhoud	Totale inhoud: 7143 m ³
DELING	
Onderdeel	
ACTOREN	
Actoren (EURO)	Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen, Universiteit Utrecht.
Financiering	Investering: Fl. 450.000,-, kapitaalkosten: Fl. 50.000,- per jaar, Onderhouds- en maaikosten: Fl. 25.000,- per jaar.
Financiering	REGIWA, STOWA, NOVEM en RIZA
Documentatie	Rapport: Nabehandeling van RWZI-effluent tot bruikbaar oppervlaktewater in een moerasstelsel, 2000.
Subsidies	NOVEM: Stimuleringsregeling Milieutechnologie van VROM, Rijkswaterstaat en LNV

BEZINKVIJVER/-BAK**DEFINITIE**

Onder een bezinkvijver/-bak wordt verstaan:

Een voorziening die zorgt voor de berging of afscheiding van bezinkbare stoffen uit afstromend regenwater afkomstig uit het gescheiden stelsels.

Voordelen

- Relatie eenvoudig te ontwerpen, bouwen en onderhouden
- kan een breed scala aan regenvalgebeurtenissen opvangen
- Kan gebruikt worden waar het grondwater kwetsbaar is, wanneer de bodem is afgesloten (bak)
- Groot potentieel voor ecologische en esthetische doeleinden

Nadelen

- Voor een goed functioneren is adequaat onderhoud vereist
- Anaërobe condities kunnen optreden wanneer het water een tijd stil staat en niet ververst wordt
- Door het landgebruik is het moeilijk toe te passen in dicht bebouwde gebieden

Locatie karakteristieken

- Doorlatende bodem (voor vijver)
- Verhang voor inflow en outflow 0-1 m
- Grootte afvoerend



Verhardoppervlak


- Dun bebouwd
- Woonwijk
- Lokale weg
- Bedrijventerrein

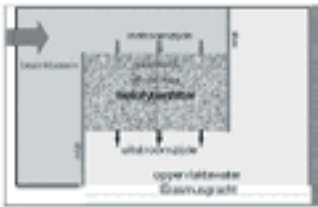



Verontreiniging verwijdering


- Gebonden: Hoog
- Opgelost: Laag


FACTSHEETS BEZINKVOORZIENINGEN



FACTSHEET bezinkbak/-vijver te Limmen		Aangemaakt op: 10-10-2006
PROJECT		
Status	Gerealiseerd	
Plaats	Limmen (gemeente Castricum)	
Locatie	Elzenlaan en de Vijverlaan	
Gebruik	mei/juni 2004	
Functie(s)	Zuiveren en bergen van het afstromende regenwater.	
Aanleiding	De gemeente wil het afgekoppelde regenwater bergen en zuiveren om te lozen op het oppervlaktewater en ze willen meer inzicht krijgen in het functioneren van de voorziening.	
Ligging	 	
Monitoring	De voorziening is door Tauw van januari tot mei gemonitord. Hierbij is gekeken naar het hemelwater, rioolwater, het water in de bezinkvijver en het water buiten de bezinkvijver.	
Afgekoppeld oppervlak	Het afgekoppelde oppervlakte bestaat uit bestrating. totale oppervlakte 10.575 m2	
Beheer aangesloten oppervlak	Onbekend	
Producent en type	Bezinkvijver	
Afmetingen voorziening	De oppervlakte varieerd van 915 tot 1030 m2	
Inhoud	149 m3 bij zomerpeil en 243 m3 bij winterpeil	
Berging	14 mm bij zomerpeil en 23 mm bij winterpeil	
Overige onderdelen watersysteem		
Overige gegevens		
Actoren	Gemeente Castricum, HHNK en Tauw	
Kosten (EURO)	Onbekend	
Financiëring	Gemeente Castricum (HHNK)	
Documentatie	Monitoring bezinkvijver Limmen, Tauw 2006	
Subsidies	N.v.t.	

FACTSHEET bezinkbak/-vijver te Amsterdam	
Aangemaakt op: 10-10-2006	
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	Amsterdam
Locatie	Julianapark (Amsterdam-oost)
Gebruik	Sinds 1993
Functie(s)	Zuiveren afstromend regenwater
Aanleiding	
Ligging	
Monitoring	De voorziening is gemonitord door Tauw van 1996 tot 1998 en in 2004
Afgekoppeld oppervlak	De aangesloten oppervlakte bestaat uit een woonwijk, een weg en het amstelstation. De totale oppervlakte is 11 ha
Beheer aangesloten oppervlak	
Producent en type	Bezinkbak
Afmetingen voorziening	De voorziening heeft een lengte van 75 m en een breedte van 5 m. In totaal is de oppervlakte 375 m ²
Inhoud	De voorziening heeft een inhoud van 730 m ³
Berging	0,0063 mm
Overige onderdelen watersysteem	Kolken
Overige gegevens	
Actoren	Gemeente Amsterdam, waternet en Tauw
Kosten (EURO)	
Financiëring	Gemeente Amsterdam en waternet
Documentatie	Amsterdam, dienst waterbeheer en riolering/functioneren, artikel H2O
Subsidies	

FACTSHEET bezinkbak/-vijver te Amsterdam		Aangemaakt op: 10-10-2006
PROJECT		
Status	Gerealiseerd	
Plaats	Amsterdam	
Locatie	Erasmusgracht	
Gebruik	< 1993	
Functie(s)	Zuiveren afstromend regenwater	
Aanleiding	Om te voldoen aan de basisinspanning	
Ligging	   	
Monitoring	De voorziening is gemonitord van 1996-1997	
Afgekoppeld oppervlak	De aangesloten oppervlakte bestaat uit een woonwijk (1920) en intensieve verkeerswegen en trambaan De totale oppervlakte is 2,37 ha	
Beheer aangesloten oppervlak		
Producent en type	Bezinkbassin	
Afmetingen voorziening	De voorziening heeft een oppervlakte van 560 m ²	
Inhoud		
Berging		
Overige onderdelen watersysteem	Kolken	
Overige gegevens		
Actoren	Gemeente Amsterdam, waternet	
Kosten (EURO)		
Financiëring	Gemeente Amsterdam	
Documentatie	Rioned nr 11, december 1999	
Subsidies	Onbekend	

FACTSHEET bezinkbak/-vijver te Simpelveld		Aangemaakt op: 17-01-2007
PROJECT		
Status	Gerealiseerd	
Plaats	Simpelveld	
Locatie	Brandstraat Scheelenstraat	
Gebruik	Sinds 2006	
Functie(s)	Het bergen en zuiveren van het afstromende regenwater	
Aanleiding	Voldoen aan de basisinspanning	
Ligging		
Monitoring	Gemeente Simpelveld i.s.m. Waterschapsbedrijf Limburg; nog niet gestart	
Afgekoppeld oppervlak	Daken: 10.200 m ² , verharding: 13.900 m ²	
Beheer aangesloten oppervlak	Niet-chemische onkruidbestrijding en terughoudend gebruik strooizout	
Producent en type		
Afmetingen voorziening	6 vijvers van ca. 10x30 m	
Inhoud	910 m ³	
Berging	38 mm	
Overige onderdelen watersysteem	slokop als overlaat op Eijserbeek	
Overige gegevens		
Actoren	Gemeente, waterschap,	
Kosten (EURO)	586,000	
Financiëring	Gemeente	
Documentatie	Folder gemeente	
Subsidies	EOGFL en waterschap (43.200 euro)	

FACTSHEET bezinkbak met nabehandeling te Hoorn		Aangemaakt op:28-03-2007
PROJECT		
Status	Gerealiseerd	
Plaats	Hoorn	
Locatie	Brandstraat Scheelenstraat	
Gebruik	Sinds 2006	
Functie(s)	Het zuiveren van het afstromende regenwater	
Aanleiding	In het dak van de nieuwe kunstbaan is zink verwerkt, hierdoor kan het water afkomstig van het dak niet zonder zuivering geloosd worden op het oppervlaktewater	
Ligging		
Monitoring	Eenmaal monster genomen i.v.m. de WVO-vergunning	
Afgekoppeld oppervlak	Zinken dak 25000 m2	
Beheer aangesloten oppervlak	Het dak wordt niet onderhouden	
Producent en type	Eigen ontwerp, bezinkbak met nabehandeling van lava (waterblock)	
Afmetingen voorziening	13 x 13 x 0.5 m (LxBxH)	
Inhoud		
Berging		
Overige onderdelen watersysteem	Rioolleidingen	
Overige gegevens	Zuivering voldoet niet, ontwerp wordt nader bekeken	
Actoren	Gemeente Hoorn	
Kosten (EURO)		
Financiëring		
Documentatie		
Subsidies		

FACTSHEET bezinkbak/-vijver te Heiloo		Aangemaakt op: 02-11-2006
PROJECT		
Status	Gerealiseerd	
Plaats	Heiloo	
Locatie	Wijk Egelshoek	
Gebruik		
Functie(s)	Bergen en zuiveren afstromend regenwater	
Aanleiding		
Ligging	 	
Monitoring		
Afgekoppeld oppervlak		
Beheer aangesloten oppervlak		
Producent en type		
Afmetingen voorziening		
Inhoud		
Berging		
Overige onderdelen watersysteem		
Overige gegevens		
Actoren		
Kosten (EURO)		
Financiëring		
Documentatie	Riolering augustus/september, jaargang 12, 2005	
Subsidies		

BODEMPASSAGE



DEFINITIE

Voor een beeldvorming is hier onderstaand een definitie gegeven van bodempassage:

Het afstromende regenwater wordt geïnfilteerd in een grondlaag waarbij de verontreinigingen in de bodem worden vastgelegd. Bij de filtratie wordt gebruik gemaakt van de bodem en eventueel toevoegingen als ijzeroxide en actief kool als zuiveringsprincipe.

Voordelen

- Flexibel in het landschap te passen
- Goede verwijdering van stedelijke verontreinigingen
- Reduceert het aantal keer runoff en volumes
- Verontreinigingen en blokkades zijn zichtbaar en eenvoudig te verwijderen/verhelpen.

Nadelen

- Ruimtegebruik
- Implementatie en beheer verdient veel aandacht

Locatie karakteristieken

- Doorlatende bodem
- Helling gebied 0-5%
- Grondwaterdiepte >0,5m


Verhardoppervlak

- Dun bebouwd
- Woonwijk
- Lokale weg
- Snelweg
- Bedriiventerrein

Verontreinigingverwijdering

- Gebonden: Hoog
- Opgelost: Hoog


FACTSHEETS BODEMPASSAGES


FACTSHEET bodempassage te Bergen (NH)		Aangemaakt op 11-10-2006
PROJECT		
Status	Gerealiseerd	
Plaats	Bergen (NH)	
Locatie	Rougemont nes	
Gebruik	Begin 2006	
Functie(s)	Zuiveren en bergen van het afstromende regenwater	
Aanleiding	Wateroverlast in de wijk	
Ligging		
Montoring	Momenteel vindt er geen monitoring plaats.	
Afgekoppeld (soort en omvang) oppervl.		
Beheer aangesloten oppervl.		
Productant en type	Ontwerp van Procensus, ondergrondse bodempassage	
Afmetingen voorziening	Per m ² afgekoppeld dakoppervlak moet de bodempassage 6 cm lang zijn.	
Inhoud		
Berging		
Overige onderdelen watersysteem		
Overige gegevens		
Actoren	Gemeente Bergen, bewoners en Procensus	
Kosten (EURO)		
Financiëring	Gemeente Bergen	
Documentatie	www.procensus.nl	
Subsidies		

FACTSHEET bodempassage(wadi) te Enschede	
Aangemaakt op: 11-10-2006	
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	Enschede
Locatie	Ruwenbos, de rode wadi
Gebruik	Sinds 1995/96
Functie(s)	Het bergen en zuiveren van het afstromende regenwater
Aanleiding	Een wadi is een praktische manier om vorm en inhoud te geven aan duurzaam
Ligging	
Monitoring	De wadi's zijn van 1999 tot 2005 gemonitord door Tauw in samenwerking met de gemeente Enschede en wrd
Afgekoppeld oppervlak	Het afgekoppelde oppervlak bestaat uit daken en wegen. De omvang is: Wegen en Daken 83 m2 Terreinverharding 34 m2
Beheer aangesloten oppervlak	Vegen
Producent en type	Wadi
Afmetingen voorziening	Gemiddelde bodembreedte van 3 m bij een talud bam 1:3
Inhoud	
Berging	Tot slokop 6 mm en tot overstort 19,4 mm
Overige onderdelen watersysteem	(lijn)goten, voordes, slokop en overstorten
Overige gegevens	
Actoren	Gemeente Enschede
Kosten (EURO)	€109.532,- (prijspeil 2005)
Financiering	Gemeente Enschede
Documentatie	Wadi's aanbevelingen voor ontwerp, aanleg en beheer, Stichting RIONED
Subsidies	Onbekend

FACTSHEET bodempassage(agrowadi) te Diepenheim	
Aangemaakt op: 31-10-2006	
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	Diepenheim
Locatie	Veehouden/bedrijf
Gebruik	sinds 2001
Functie(s)	Zuiveren van het afstromende regenwater
Aanleiding	Per 1 maart 2000 is het lozingsbesluit open teelt en veehouderij (LOTV) van kracht geworden.
Ligging	 <p style="text-align: center;">Figuur 1: Het schone en valse gedeelte van het erf</p>
Monitoring	Door het waterschap Regge en Dinkel wordt de voorziening gemonitord. Momenteel (31-okt) is de monitoring nog bezig en is er nog geen rapport van beschikbaar.
Afgekoppeld oppervlak	Er moet van 3000 m ² vervuild oppervlak water lozen op de wadi.
Beheer aangesloten oppervlak	Het beheer is afhankelijk wat de eigenaar van het terrein voor werkzaamheden verricht. Het is particulier terrein.
Producent en type	Agrowadi
Afmetingen voorziening	De wadi heeft een bodembreedte van 4 meter, een bovenbreedte van 6 meter en een lengte van 34 meter.
Inhoud	Er moet 36 m ³ water in de wadi passen en er kan 54 m ³ water in.
Berging	0,018 mm
Overige onderdelen watersysteem	Voorbezinkput
Overige gegevens	
Actoren	Gemeente Diepenheim, veehouden/bedrijf (dhr. Jonker), WRD
Kosten (EURO)	€ 9.532,-
Financiering	Gemeente Diepenheim, WRD
Documentatie	Rapport Agrowadi van het WRD
Subsidies	

FACTSHEET bodempassage(wadi) te Almelo	
Aangemaakt op: 11-10-2006	
PROJECT	
Status	Ge realiseerd
Plaats	Almelo
Locatie	P.C. Boutensstraat
Gebruik	Sinds 2001
Functie(s)	Bergen en zuiveren regenwater
Aanleiding	Doordat de bestaande openbare ruimte opnieuw werd ingericht, ontstond een kans om ook het hemelwater van het gemengde stelsel af te koppelen.
Ligging	
Monitoring	N.v.t.
Afgekoppeld oppervlak	Van ongeveer 1.500 m ² verhard oppervlak, bestaande uit daken en rijsweg, stroomt het hemelwater nu in een wadi
Beheer aangesloten oppervlak	
Producent en type	
Afmetingen voorziening	De diepte van de wadi is 0,35 cm
Inhoud	
Berging	
Overige onderdelen watersysteem	
Overige gegevens	
Actoren	Gemeente Almelo, waterschap Regge en Dinkel
Kosten (EURO)	
Financiering	Gemeente Almelo
Documentatie	
Subsidies	

FACTSHEET bodempassage(wadi) te Oostzaan		Aangemaakt op: 12-10-2006
PROJECT		
Status	Gerealiseerd	
Plaats	Oostzaan	
Locatie	Doktersbuurt	
Gebruik	sinds 2003	
Functie(s)	Zuivering van regenwater	
Aanleiding	De riolering in de Doktersbuurt was aan vervanging toe, bij het nieuwe ontwerp is het verhard oppervlak afgekoppeld	
Ligging		
Monitoring	De bodempassage is na aanleg voor een periode gemonitourd	
Afgekoppeld oppervlak	Daken en wegen (bestaand) totaal 2,4 ha	
Beheer aangesloten oppervlak		
Producent en type	Bodempassage	
Afmetingen voorziening	Bodem 1,5 m, totale breedte 3,30 m en een diepte van 0,2 m	
Inhoud		
Berging	78 m3	
Overige onderdelen watersysteem	Drainage	
Overige gegevens		
Actoren	Gemeente Oostzaan	
Kosten (EURO)		
Financiëring		
Documentatie	RIONED, Wadi's:aanbevelingen voor ontwerp, aanleg en beheer, Ede (2006), Tauw	
Subsidies		

FACTSHEET Bodempassage te Hazerswoude Rijndijk	
Aangemaakt op: 28-03-2007	
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	Rijksweg N11
Locatie	Ter hoogte van de kruising Gemeweg Hazerswoude
Gebruik	Sinds 2006
Functie(s)	Zuivering wegwater
Aanleiding	Lozen van verontreinigd water tot een minimum beperken
Ligging	
Monitoring	Er wordt gemonitord door Rijkswaterstaat
Afgekoppeld (soort en omvang) oppervlak	1,178 ha: 0,53 ha ZOAB wegdek, 0,65 ha wegberm
Beheer aangesloten oppervlak	Bestrijding van gladheid met nat strooizout
Producent en type	ontwerp is van ECOFYT: Bodempassage en bufferbak/overloop
Afmetingen voorziening	Ongeveer 1000 m ²
Inhoud	
Berging	Totale voorziening (inclusief overloop en pompkelder) 714 m ³
Overige onderdelen watersysteem	Woelkelder, kolken, by pass, buffersloot
Overige gegevens	
Actoren	Rijkswaterstaat Zuid-Holland, Hoogheemraadschap van Rijnland
Kosten (EURO)	
Financiëring	
Documentatie	Plannen 1998: Helofytenfilter Rijksweg: ontwerpconcepten en onderbouwing; ontwerp: materialenstaat en tekeningen; beheer-, onderhoud- en
Subsidies	

DOORLATENDE VERHARDING



DEFINITIE

Onder doorlatende verharding wordt verstaan:

Doorlatende verharding is wegdek dat water doorlatend is. Onder de verharding ligt een zandpakket dat een transporterende, zuiverende en bergende functie kan hebben en tevens draagkrachtig genoeg is om door verkeer bereden te worden.

Voordelen

- Significante reductie/vertraging van afstroomvolume
- toegepast in gebieden met een goed doorlatende ondergrond als gebieden met een slecht doorlatende bodem
- De filterende werking van de constructie voorkomt verontreiniging van bodem en grondwater
- Aanleg zowel in bestaand gebied als bij nieuwbouw mogelijk

Nadelen

- Systeem bij voorkeur niet toepassen op locaties waar een grote hoeveelheid sedimenten lading op de oppervlakte stroomt
- Kan niet bij alle wegen gebruikt worden. Er moet rekening gehouden worden met de as-druk en de snelheid

Locatie karakteristieken

- Doorlatende bodem
- Helling gebied 0-5%
- Grootte afvoerend oppervlak onbeperkt
- Grondwaterdiepte >1m

Verhardoppervlak

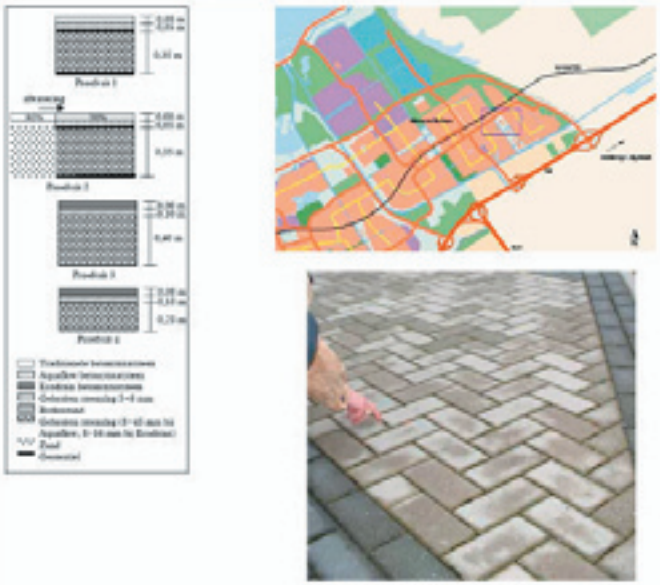
- Dicht/dun bebouwd
- Woonwijk
- Lokale weg
- Bedrijventerrein


Verontreinigingverwijdering


- Gebonden: Hoog
- Opgelost: Laag

FACTSHEETS DOORLATENDE VERHARDING

FACTSHEET doorlatende verharding Leidsche Rijn	
Aangemaakt op: 12-10-2006	
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	Utrecht
Locatie	Leidsche Rijn
Gebruik	Vanaf 1996
Functie(s)	Bergen (zuiveren) regenwater
Aanleiding	Er moet een gesloten watersysteem komen, hiervoor dient al het regenwater geborgen te worden en niet direct afgevoerd te worden.
Ligging	
Monitoring	Door de gemeenten Utrecht is gekeken naar de doorlatendheid van de stenen. Voor resultaten van het onderzoek moet men bij het ingenieursbureau Utrecht zijn.
Afgekoppeld oppervlak	Door geheel Leidsche Rijn ligt doorlatende verharding. Het water wat op de verharding komt is afkomstig van de daken en trottoirs.
Beheer aangesloten oppervlak	De oppervlakte worden geveegd, hiervoor is geen vast regime. Wanneer een bepaald oppervlak een vervuilinggraad haalt wordt er geveegd.
Producent en type	Diverse type.
Afmetingen voorziening	Door heel Leidsche Rijn is doorlatende verharding toegepast.
Inhoud	N.v.t.
Berging	Infiltratie capaciteit van 90 l/s/ha
Overige onderdelen watersysteem	Wadi, sloten
Overige gegevens	
Actoren	Gemeente Utrecht
Kosten (EURO)	€31,60 m ²
Financiëring	Gemeente Utrecht
Documentatie	Presentatie Michiel Rijdsijk, www.rioned.nl →PROA
Subsidies	

FACTSHEET doorlatende verharding Almere	
Aangemaakt op 30-10-2006	
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	Almere
Locatie	Almere buiten (proeflocatie)
Gebruik	sep-03
Functie(s)	Het vasthouden van gebieds eigen water
Aanleiding	Het huidige beleid schrijft voor om gebieds eigen water vast te houden op de locatie.
Ligging	
Monitoring	Door de gemeente Almere is gekeken naar de doorlatendheid en sterkte van de doorlatende verharding. Er is ook gekeken naar het functioneren van de berging en afvoer en de kwaliteit van het drainagewater. Er is een rapport beschikbaar opgesteld door M.A. Rus.
Afkoppeld oppervlak	Het gaat om een parkeerplaats met een breedte van 23m en een lengte van 70m
Beheer aangesloten oppervlak	De oppervlakte wordt beheerd door een veeg-/zuigauto
Producent en type	Aquaflo en ecodrain
Afmetingen voorziening	Gedeeltes van de parkeerplaats bestaan uit doorlatende verharding
Inhoud	
Berging	
Overige onderdelen watersysteem	
Overige gegevens	
Actoren	Gemeente Almere
Kosten (EURO)	
Financiering	Gemeente Almere
Documentatie	www.aquaflo.nl , www.ecodrain.nl en www.rioned.nl
Subsidies	

FACTSHEET doorlatende verharding Renkum	
Aangemaakt op: 27-02-2007	
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	Renkum
Locatie	Bram Streeflandweg
Gebruik	Sinds januari 2004
Functie(s)	Het laten infiltreren van gebieds eigen water
Aanleiding	Problemen in de wijk met afvoer van regenwater via DWA. Door revitaliseringsproject van het riool direct afgekoppeld
Ligging	
Monitoring	
Afgekoppeld oppervlak	
Beheer aangesloten oppervlak	
Producent en type	Aquaflow
Afmetingen voorziening	
Inhoud	
Berging	
Overige onderdelen watersysteem	
Overige gegevens	
Actoren	
Kosten (EURO)	
Financiëring	
Documentatie	www.aquaflow.nl , www.ecodrain.nl en www.rioned.nl
Subsidies	

FACTSHEET doorlatende verharding Spijkenisse	
Aangemaakt op: 26-03-2007	
PROJECT	
Status	Gerealiseerd
Plaats	Spijkenisse
Locatie	Herinrichting flatstrook wijk Sterrenkwartier
Gebruik	Eind 2005
Functie(s)	Pilotproject "Duurzaam afkoppelen" door het infiltreren, vertraagd afvoeren en zuiveren van afstromend hemelwater.
Aanleiding	Invulling geven aan het beleidsvoornemen verharde oppervlakken verantwoord af te koppelen van de riolering en af te laten voeren op oppervlaktewater.
Ligging	
Monitoring	
Afgekoppeld oppervlak	Ca. 15.000 m ² verhard straatoppervlak is afgekoppeld.
Beheer aangesloten oppervlak	Door veeg/zuigwagen (en incidenteel door inzet van een Zoabzuiger)
Producent en type	Aquaflow en Permavoid
Afmetingen voorziening	ca. 2600 m ² Aquaflow
Inhoud	
Berging	
Overige onderdelen watersysteem	
Overige gegevens	
Actoren	Gemeente Spijkenisse
Kosten (EURO)	
Financiëring	Gemeente Spijkenisse
Documentatie	www.aquaflow.nl en www.permavoid.com .
Subsidies	Bijdrageregeling "Verantwoord afkoppelen" v/h waterschap Hollandse Delta