

KWR 2016.125 | Februari 2017

Concepten voor snelle voorzuivering van ASR- infiltratiewater

Concepten voor snelle voorzuivering van ASR- infiltratiewater

KWR 2016.125 | Februari 2017

Opdrachtnummer

400996

Projectmanager

ir. M.L. (Martin) van de Schans

Opdrachtgever

HydroBusiness, Brabant Water

Kwaliteitsborger

Dr. N. (Niels) Hartog

Auteurs

Dr ir. D. (Dirk) Vries, B (Bea) de la Loma MSc, ir. M.L. (Martin) van de Schans, Dr. K.G. (Koen) Zuurbier

Begeleidingsgroep

Drs. A. (Arjan) de Vries (Brabant Water), ing. J. (Joost) Smetsers (HydroBusiness)

Verzonden aan

Dit rapport is openbaar.

Dit onderzoek is mede gefinancierd uit de toeslag voor Topconsortia voor kennis en innovatie (TKI) van het ministerie van Economische zaken.

Jaar van publicatie
2016

Meer informatie

T +31 30 6069 537
E Martin.van.der.Schans@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



KWR Watercycle
Research
Institute

KWR | December 2016 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Inhoud

1	Introductie	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Doel en scope	4
1.3	Werkwijze	4
1.4	Leeswijzer	4
2	Beoordelingskader	5
2.1	Aanbod van ASR-infiltratiewater en globale vuillast	5
2.2	Eisen samenstelling infiltratiewater	5
2.3	Benodigde zuiveringsinspanning	8
3	Overzicht van enkele ASR-voorzuiveringstechnieken	9
3.1	Beoordelingscriteria	9
3.2	Langzaam zandfilter (LZF) in combinatie met snelfiltratie	9
3.3	Zelfreinigende filters	11
3.4	Geïntegreerde afscheidingstechnieken in hemel water afvoer (HWA)-systemen	14
3.5	Natuurlijke waterzuiveringssystemen	16
3.6	Waterbodemfiltratie	21
3.7	Geavanceerdere zuiveringssystemen	23
4	Conclusies en aanbevelingen	25
4.1	Evaluatie en handreiking voor selectie van technieken voor snelle voorzuivering	25
4.2	Aanbevelingen voorzuivering regenwater voor ASR	26
4.3	Aanbevelingen vervolgonderzoek	26
5	Beschikbare literatuur	27

Bijlage I: normen infiltratiebesluit bodembescherming

1 Introductie

1.1 Aanleiding

Bebouwde gebieden waaronder glastuinbouwgebieden, stedelijk gebied en bedrijventerreinen kampen met een onbalans in de zoetwaterbeschikbaarheid en -vraag. Zo leidt extreme neerslag soms tot wateroverlast, terwijl er bij droogte water aangevoerd of gezuiverd moet worden. Berging van de aanzienlijke tijdelijke overschoten legt een grote claim om de steeds schaarsere bovengrondse ruimte. Een alternatief is het benutten van de ondergrond om wateroverschotten te infiltreren, te bergen en terug te winnen via grondwaterputten. Deze techniek is bekend als *aquifer storage and recovery* (ASR) en wordt in de glastuinbouw al lokaal toegepast om meer hemelwater vast te houden. Interessant is om de capaciteit en mogelijkheden voor ruimtelijke inpassing te vergroten zodat de potenties van ASR voor zoetwatervoorziening en het voorkomen van wateroverlast worden vergroot. De uitdaging hierbij is om grote hoeveelheden water in korte tijd te zuiveren, zodanig dat het geschikt is voor infiltratie in de ondergrond. Hiervoor moet het infiltratiewater ontdaan worden van zwevend stof en potentiële verontreinigingen.

In stedelijk gebied is al wel enige ervaring opgedaan met het afkoppelen van hemelwater naar diepinjectieputten met een hogere piekcapaciteit. Uit onderzoek van STOWA (2016) is gebleken dat deze systemen in de praktijk veelal met putverstopping kampen door hoge concentratie deeltjes en nutriënten in het ingezamelde hemelwater, welke niet snel genoeg of niet in voldoende mate zijn te verwijderen via conventionele zuiveringsmethoden binnen stedelijke afvoersystemen. Conventionele voorzuiveringsmethoden die momenteel worden toegepast in ASR (langzame zandfilter, relatief grove zelfreinigende filters) hebben ofwel een groot en ongunstig ruimtebeslag of zijn onvoldoende effectief. Het beschikbaar hebben van een overzicht van meerdere, alternatieve 'best-beschikbare technieken' voor de voorzuivering van ASR-infiltratiewater is daarom waardevol bij verdere implementatie van ASR

1.2 Doel en scope

Het doel van deze rapportage is om zuiveringsconcepten in beeld te brengen die kansrijk zijn voor snelle voorzuivering van ASR-infiltratiewater in gebieden met een beperkt beschikbare bovengrondse ruimte. De scope van dit rapport is met name gericht op het bij elkaar brengen van beschikbare informatie. Er is geen uitgebreide evaluatie uitgevoerd.

1.3 Werkwijze

Dit onderzoek omvat een literatuurstudie. En is uitgevoerd in het kader van het TKI project "Snelle voorzuivering" in samenwerking tussen KWR, HydroBusiness en Brabant Water.

1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 van deze rapportage wordt het kader voor het benodigde verwijderingsrendement van de voorzuivering geschetst. In hoofdstuk 3 wordt een overzicht van geschikte technieken en hun verwijderingsrendement gegeven. In hoofdstuk 4 wordt geconcludeerd welke technieken kansrijk zijn.

2 Beoordelingskader

2.1 Aanbod van ASR-infiltratiewater en globale vuillast

Bij te benutten watertypen kan allereerst worden gedacht aan doorgaans vrijelijk beschikbaar hemelwater en oppervlaktewater, eventueel aangevuld met andere watertypen, zoals hergebruikt water en drainagewater. Verschillende watertypen verlangen naar verwachting verschillende zuiveringsinspanningen, afhankelijk van de samenstelling (Figuur 2-1).

Bron	Vuillast	Benodigde Verwijderingsrendement	Eisen samenstelling Infiltratiewater:
Hemelwater			
- Glastuinbouw	Zw (+Met +OMIVE)	Geschikte technieken (Hoofdstuk 3)	- Eindgebruiker (beoogd gebruik na terugwinning)
- Daken	Zw + NP + Met		- Wetgeving (grondwaterkwaliteit, lozing na gebruik)
- Wegen	Zw + NP + Met + WZ + OMIVE		- Voorkomen putverstopping (putmanagement)
Oppervlaktewater	Zw + NP + Met + OMIVE		
Vuilwater (gemengde riolering)	Zw + NP + Met + WZ + OMIVE		
Grondwater (Drainage)	Zw (klei) + P + Met (gereduceerd)		

Figuur 2-1: Kader voor het vaststellen van de benodigde zuiveringsinspanning (Zw = Zwevend stof, NP = Nutriënten, Met = Metalen, WZ = Wegenzout, OMIVE = Organische Microverontreinigingen (incl. Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs)). In de glastuinbouw worden sporadisch overschrijdingen gemeten van metalen en OMIVE (pesticiden). NB: ook microbiologisch kunnen de meeste watertypen verontreinigd zijn (virussen, bacteriën). Dit is echter met name relevant voor het beoogde hergebruik na terugwinning.

2.2 Eisen samenstelling infiltratiewater

De kwaliteitseisen waar het infiltratiewater aan moet voldoen zijn gebaseerd op de volgende aspecten:

1. De toepassing door de eindgebruiker: het water moet na ondergrondse opslag teruggewonnen worden met de gewenste kwaliteit. De kwaliteit van het infiltratiewater heeft hierop een grote invloed;
2. De wettelijke eisen: ter bescherming van het grondwater dient het infiltratiewater aan kwaliteitseisen te voldoen (Technische Commissie Bodem, 2009). Hiervoor is wetgeving beschikbaar in het kader van de Waterwet, met name gebaseerd op Drinkwaterbesluit en het Infiltratiebesluit bodembescherming;

3. Het voorkomen van putverstopping: een operationele eis voor het infiltratiesysteem is dat putverstopping uitblijft, of sterk wordt beperkt, teneinde terugloop van de putcapaciteit te voorkomen (nader toegelicht in paragraaf 2.2.1).

Tabel 2-1 overzicht van kwaliteitseisen

Eisen	Niet-toelaatbare (stof)groepen
<p>Eindgebruiker</p> <ul style="list-style-type: none"> • Glastuinbouw • Akkerbouw • Bierbrouwerij • Stad (aanvullen vijvers, sproeien sportvelden, reiniging) 	<p>ZS + Met + WZ + OMIVE</p> <p>Met</p> <p>Met + WZ + OMIVE</p> <p>ZS + Met + NP</p>
<p>Wetgeving</p> <ul style="list-style-type: none"> • Waterwet: activiteit is 'Infiltreren' (in samenhang met terugwinning). Teruggelaten wordt op het Infiltratiebesluit bodembescherming. Dit is volgens de wet uitsluitend van toepassing op infiltratie van water afkomstig uit oppervlaktewater, maar wordt door bevoegd gezag tevens gehanteerd voor andere 'verdachte watertypen' om aan de zorgplicht voor de grondwaterkwaliteit te voldoen. Met name de verplichtingen voor monitoring vanuit dit besluit en hoge kosten hiervan zijn (mede) aanleiding voor het opstellen van een praktisch afwegingskader (STOWA publicatie nr.35, 2015). Hierbij is dezelfde wetgeving leidend, maar worden aanbevelingen gedaan voor verantwoordelijk maatwerk op basis van risicoanalyse. • Drinkwaterbesluit, hoofdstuk 3 	<p>ZS + Met + OMIVE + NP + WZ</p>
<p>Voorkomen van putverstopping</p> <ul style="list-style-type: none"> • zwevend stof <0,1 mg/l • troebelheidsgraad <1 Nephelometric Turbidity Units (NTU) • ijzer <0,01 mg/l • Sodium Adsorption Ratio (SAR) < 6 bij EGV 40–100 mS/m • Dissolved Organic Carbon (DOC) < 2 mg/l • Assimilable Organic Carbon (AOC) < 10 µg acetaat-C/l • Modified Fouling Index (MFI*) < 3–5 s/L² ** 	<p>Zw + NP + AOC***</p>

* Schippers and Verdouw (1980)

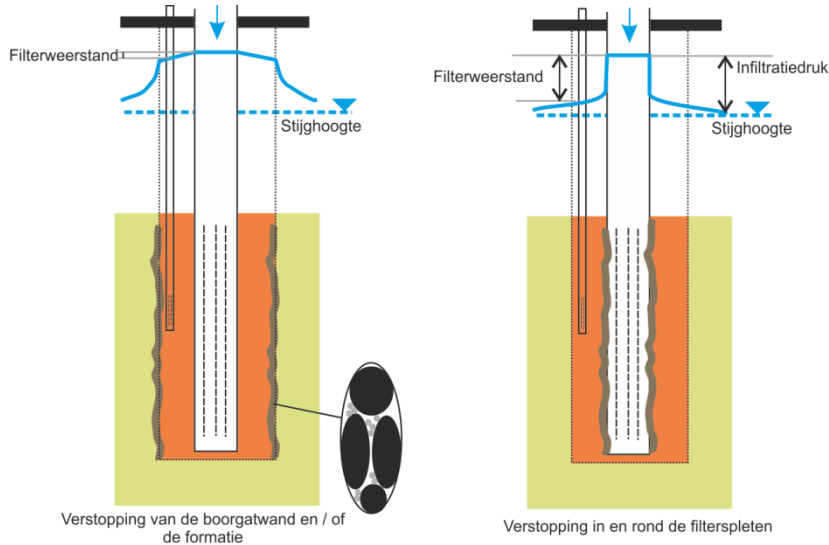
** In deze rapportage is aangenomen dat een verwijdering van deeltjes < 5 micron voldoende is om deze kwaliteit te halen.

*** AOC: assimilable organic carbon

2.2.1 Nader toegelicht: putverstopping te voorkomen

Bij ASR worden grote volumes (doorgaans 10 – 100 m³/uur) per grondwaterput via het putfilter naar het watervoerende pakket geleid. Hierbij worden achtereenvolgens filterspleten, een omstorting en een boorgatwand (=overgang omstorting naar de formatie) gepasseerd. Zowel ter plaatse van de filterspleten als de omstorting kan verstopping van de ASR-put ontstaan door deeltjes in het geïnjecteerde water die accumuleren (Figuur 2-2). Hierdoor zal de capaciteit van de bron (bij dezelfde infiltratiedruk) afnemen en wordt een kleiner volume per tijdseenheid de bodem ingebracht. Deze afnemende capaciteit kan ertoe leiden dat het beoogde volume niet tijdig geïnfilterd kan worden, waardoor wateroverlast en/of verlies van zoetwater kan plaatsvinden. Putverstopping kan

ook leiden tot hogere energiekosten en opbarsting van de bodem, als door verstopping de maximale toelaatbare infiltratiedruk wordt overschreden.



Figuur 2-2: Typische vormen van putverstopping door deeltjes

Tabel 2-2 Typologie van putverstopping en belangrijkste processen die leiden tot putverstopping bij infiltratie, bron: (Martin, 2013)

Verstopping type	Verstopping process
Fysiek	<ul style="list-style-type: none"> • Ophoping van organische en anorganische zwevende deeltjes, met name op de boorgatwand. • Opzwellen van kleien tijdens infiltratie van zoetwater in brakke of zoute grondwaterpakketten (bijv. Montmorilloniet). • Dispersie van kleien tijdens infiltratie van zoetwater in brakke of zoute grondwaterpakketten (bijv. Montmorilloniet), gevolgd door invang in kleine poriën.
Mechanisch	<ul style="list-style-type: none"> • Meevoeren van lucht / gas in infiltratiewater naar de omstorting
Biologisch	<ul style="list-style-type: none"> • Groei en accumulatie van biofilms

De wijze waarop de putten bedreven worden is ook van invloed op de mate waarin putten verstoppem. Zo gelden bij regelmatig terugspoelen ('backflushen': abrupt onttrekken uit de infiltratiebron met hoog debiet) van infiltratieputten minder strenge eisen t.a.v. het infiltratiewater met betrekking tot putverstopping.

2.3 Benodigde zuiveringsinspanning

De benodigde zuiveringsinspanning ten behoeve van hergebruik hangt af van het kwaliteitsverschil tussen de bron en de eisen die gesteld worden aan het infiltratiewater. Voldoende verwijdering van deeltjes zal in alle gevallen een opgave zijn, gevolgd door verwijdering van zware metalen, nutriënten en organische microverontreinigingen. In het navolgende hoofdstuk wordt een aantal technieken geëvalueerd.

3 Overzicht van enkele ASR-voorzuiveringstechnieken

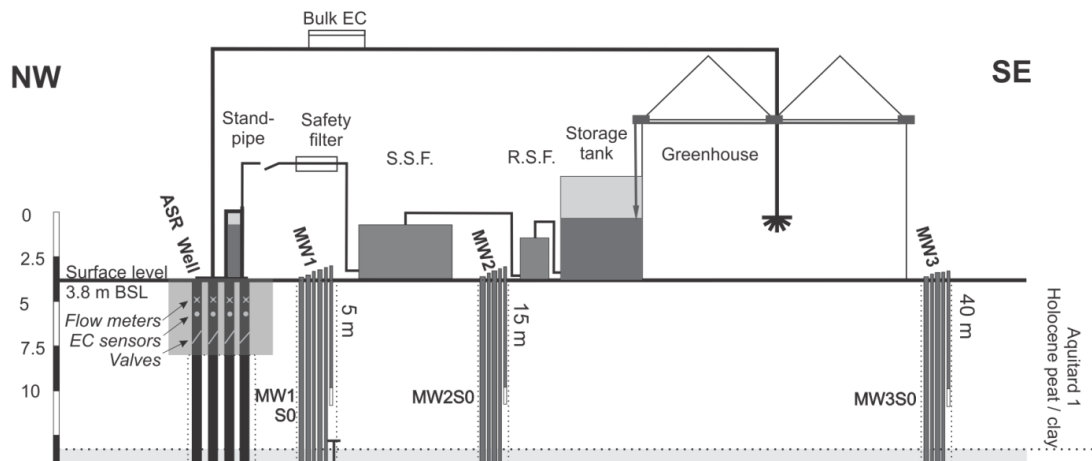
3.1 Beoordelingscriteria

In dit hoofdstuk worden een aantal technieken besproken. Per techniek wordt ingegaan op de volgende criteria die relevant zijn bij de selectie van een ASR-voorfilter:

- Capaciteit (kwantiteit)
- Zuiveringsrendement (zie hoofdstuk 2). In dit hoofdstuk wordt ingegaan op zwevende stof, nutriënten (NP), Metalen (Met), zouten en organische microverontreinigingen (OMIVE);
- Bovengronds ruimtebeslag
- Onderhoud en voorzorgsmaatregelen (waaronder frequentie van onderhoud)
- Indicatie investerings- en operationele kosten installatie per m³/u capaciteit
- Energieverbruik

3.2 Langzaam zandfilter (LZF) in combinatie met snelfiltratie

Deze techniek wordt als een bewezen techniek beschouwd op basis van de ervaringen bij infiltratieprojecten voor drinkwater en irrigatiewater. Een schematisch overzicht van toepassing van een langzaam zandfilter bij ASR in de glastuinbouw is gegeven in Figuur 3-1. Daarnaast heeft de techniek zich bewezen in (grootschalige) zuivering van oppervlaktewater tot drinkwater (voorbeeld Waternet, Amsterdam) waarbij langzame zandfiltratie als laatste barrière in de zuivering zorgt voor verwijdering van zwevende stof, (biodegradeerbare) verontreinigingen en nutriënten als ook voor reductie van pathogene micro-organismen, virussen en protozoa (Huisman & Wood 1974; Hijnen et al. 2004).



Figuur 3-1: Toepassing langzame en snelle zandfiltratie bij ASR in de glastuinbouw (Nederland), met name voor afvang fijne zwevende delen (Zurbier et al., 2014). R.S.F. = rapid sand filter (snelfilter, S.S.F. = slow sand filter (langzaam zandfilter).

Tabel 3-1: overzicht van karakteristieken van LZF met voorgeschakeld snelfilter. Bronnen: (Logsdon et al. 2002; Chinu et al. 2009; Hijnen et al. 2004; Diels et al. 1999; Diels et al. 2003)

Aspect	Parameters	Typische waarden
Capaciteit		100 tot 300 L/m ²
Ruimtebeslag		Groot (2 m ² per m ³ /h)
Zuiveringsrendement	ZS	In combinatie met voorgeschakeld filtersysteem ('roughing filter', een snelfilter of een kaarsenfilter) om grote deeltjes af te vangen, is een verwijdering haalbaar tot < 5 NTU (ca. 70%)
	PMO	Afhankelijk van filtratiesnelheid (hoe langzamer, hoe beter de verwijdering) en korrelgrootte (hoe kleiner, hoe beter de verwijdering). Voor filtratiesnelheden rond de 0.1 tot 0.2 m/u is het verwijderingsrendement > 99.9% voor Giardia, > 90% totale coliformen, > 99.99% (ca. 4 tot 5 log ₁₀ -verwijdering) van Cryptosporidium oöcysten
	Metalen	Zink, koper, cadmium en lood kunnen tot meer dan 95 tot 99% verwijderd, afhankelijk van de populatie van micro-organismen (biosorptie) en temperatuur van het ingaande water. Ijzer en mangaan kunnen voor meer dan 60 worden verwijderd, en arseen slechts in beperkte mate (30 tot 40%).
	OMIVE en NP	DOC: ca. 10 tot maximaal 25%, AOC-verwijdering ligt hoger: ca. 30 tot 40% bij drinkwaterproductie. Typische AOC bij glastuinbouwsystemen na langzame zandfiltratie ca. 10 µg/l. Leidt tot beperkte verstopping door biologische groei bij lange infiltratieperioden (met name in de zomer). Veel microverontreinigingen worden microbiel afgebroken. Zuiveringsrendement is verder seizoensafhankelijk (meer verwijdering bij hogere temperaturen).
	MFI	2-10 s/l ²
Onderhoud en voorzorgsmaatregelen	overige	Onderhoud bij glastuinbouwsystemen: verwijderen vuillaag ('schmutzdecke') ca. eenmaal per 2 jaar. Snelfilter spoelt terug op riolering bij oplopen drukverschil. Putregeneratie bij toepassing LZF: alsnog jaarlijks met chloorbleekloog of waterstofperoxide (deels preventief). De troebelheid van het ingaande water zal voor optimale werking van de LZF onder de 10 NTU moeten worden gehouden. Een voorbelucht zandfilter is noodzakelijk om ammonium te verwijderen middels nitrificatie, anders voldoet een kaarsenfilter voor het verlagen van de troebelheid en afvangen van grote deeltjes.
Kosten		Investering afhankelijk van beschikbaar oppervlak en ruimte, onderhoudskosten: laag (verwijdering vervuilde laag, beperkte monitoring van troebelheid in effluent, pH, fosfaat en nitraatmetingen)

ZS = zwevend stof, PMO = potentieel pathogeen micro-organisme, OMIVE = organische microverontreinigingen, NP = stikstof en fosfaat, MFI = modified fouling index

3.3 Zelfreinigende filters

Zelfreinigende filters kunnen een interessant alternatief zijn door hun beperkte ruimtebeslag en lage onderhoudsfrequentie. Ervaringen met zelfreinigende filters (zoals SAF-filters (Amiad), verwijdering ca. 25 micron nominaal) als voorzuivering bij ondergrondse waterberging zijn er wel, maar de beschrijving van de prestaties is met name anekdotisch (tuinders, installateurs, boorbedrijven). Hieruit lijkt dat putverstopping en opbarsting significant meer plaatsvinden bij deze relatief grove zuivering. Alleen bij zeer fijne filtratie (zoals met het MT44 filter (Amiad) lijkt voldoende voorzuivering plaats te vinden. Hieruit kan opgemaakt worden dat een fijnere voorfiltratie noodzakelijk is, en dat hierop dan ook gestuurd moet worden bij alternatieve systemen. Twee reeds op de markt verkrijgbare alternatieven zijn hieronder belicht.

3.3.1 Fuzzy filter

Het *Fuzzy filter* is een snelfiltratiemethode en zelfreinigend. Het wordt gebruikt om zwevende stoffen uit het water te verwijderen. Het snelfilter wordt gevormd door het op elkaar drukken van *Fuzzy* ballen tussen twee roosters. De ballen worden samengedrukt om een fijn poreus medium te creëren. Zo kan zwevend stof bij een hoge snelheid (tot $100\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$) worden tegenhouden en vastgelegd (Visser, 2011). Om de balletjes te reinigen worden de Fuzzy ballen vrijgemaakt door één rooster omhoog te bewegen, waarna met influent en lucht wordt teruggespoeld (Figuur 3-2).

Filtreren

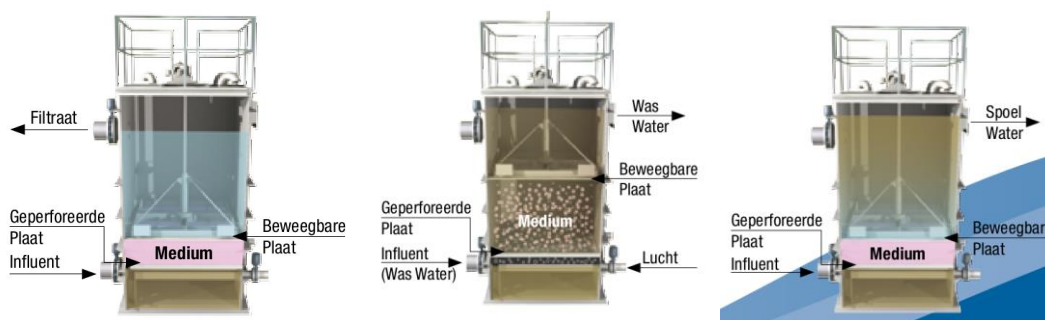
Tijdens de filtratie cyclus wordt de porositeit geregeld met een geperforeerde plaat. Het influent stroomt van onder naar boven door het Fuzzy medium. Zodra het filter is verzadigd met deeltjes, start de wascyclus.

Wascyclus

Tijdens de wascyclus gaat de geperforeerde plaat omhoog, zo kunnen de Fuzzy balletjes volledig vrij bewegen in het Fuzzy Filter. Dit maakt het mogelijk de balletjes met veel snelheid en kracht te wassen zonder dat er medium verloren gaat. Voor de wascyclus wordt influent en lucht gebruikt.

Spoelen

Na de wascyclus wordt het medium weer samengedrukt met de geperforeerde plaat. Het overgebleven vuil wordt afgevoerd en het filtratieproces begint opnieuw.



Figuur 3-2 Werking van het Fuzzy filter.

Het filter gebruikt een 30" diep mediabed, welke bestaat uit individuele 1,25" diameter (32 mm) samendrukbare synthetische vezelbollen, en verwijdert deeltje tot ca. 4 micron (Tabel 3-2). Omdat het medium samendrukbaar is, kan de porositeit van het filter worden aangepast aan diverse filtratiebehoeften. Niettemin zijn deze filters meestal gebruikt om de zandfilters te vervangen zodat een hogere flux gebruikt kan worden (Poff and Wilson, 2010), waarbij vergelijkbare resultaten met die van de zandfilters worden gehaald. Chloor kan toegepast worden (na 1 of 1.5 jaar) om

bacteriegroei te voorkomen. Reinigingsmiddel kan worden toegepast om de vetopbouw (meegebracht met het afvalwater) te verwijderen (Gibbs, 2009).

Het Fuzzy filter is recent onderzocht in de volgende studies:

- Nutriëntverwijdering bij een regenwater overstort (Technische Universiteit van Berlijn, Duitsland);
- Nutriëntverwijdering uit RWZI effluent (STOWA, Nederland) (Visser, 2011);
- Deeltjesverwijdering (Fachhochschule Münster, Duitsland).

Uit de nutriëntenstudie van STOWA (Visser, 2011) kwam dat voor kleinere RWZI's Fuzzy Filters duurder zijn dan zandfilters. Voor grotere rwzi's zijn de kosten voor Fuzzy Filters en zandfilters in dezelfde orde van grootte.

Uit dit onderzoek kwam ook dat Fuzzy filtratie niettemin, sommige nadelen heeft in vergelijking met zandfiltratie:

- sterke toename van de hydraulische belasting van de RWZI waardoor naast de filtratiestap, een hydraulische uitbreiding van de RWZI wellicht noodzakelijk is;
- kortere looptijden ten gevolge van fosfaatdoorslag, hogere spoelwaterproductie;
- minder praktijkervaring waardoor het proces minder zekerheid biedt dan zandfiltratie.

Tabel 3-2: overzicht van karakteristieken van het Fuzzy filter systeem.

Aspect	Parameters	Typische waarden
Zuiveringsrendement	ZS	Verwijdering tot 4 micron, verwijdering haalbaar tot 1NTU (Gibbs, 2009) of 2NTU met influents van 8NTU (Caliskaner et al., 1999).
	Nitraten	2,5 kg N/m ² filter per dag, 50% verwijdering (Visser, 2011)
	PO4	7,5 g o-PO ₄ /m ² filteroppervlakte, maximale concentratie voor Fuzzy Filtratie bedraagt circa 0,7 mg P/l (Visser, 2011)
	Metalen	Geen specifieke info (maar waarschijnlijk vergelijkbaar met zandfilters)
	OMIVE	Geen info (maar waarschijnlijk vergelijkbaar met zandfilters)
Ruimtebeslag		Beperkt en modulair
Capaciteit		Vergelijkbare prestaties met zandfiltratie behalve dat de infiltratie 3 tot zesmaal groter kan zijn: Het kan ondersteunen tot 1230 L/m ³ min en 30gal/m ³ /sq ft (filtratie) en <i>Compression ratio</i> van 40%, Met deze getallen is er een terugspoelwaterstroom van 5.4%. (Caliskaner et al., 1999)
Onderhoud		Terugspoelen + (chloor + detergent elke 1 of 1.5 jaar) (Gibbs, 2009)
Chemische toevoegingen	overige	Chemische reiniging (chloor) en reinigingsmiddel ter verwijdering biologische vervuiling en vet. Ongeveer eens per 1 - 1.5 jaar.
Kosten		Geen info

Het Fuzzy filter is modulair uit te bouwen tussen de 5 en 400 m³/h. Bosman Watermanagement B.V heeft een testinstallatie beschikbaar om het filter te laten testen. De mobiele testinstallatie is berekend voor een debiet tussen de 5 en de 20 m³/uur.

3.3.2 Galileo L

Galileo L is een automatisch ringenfilter dat opgebouwd is uit kunststof ringen, samengedrukt op een variabele houder. Gegroefde filterringen worden samengeperst, waarna een waterstroom van buiten naar binnen wordt gerealiseerd. Grote vuildelen blijven aan de buitenzijde, terwijl de fijnere vuildelen in het ringenpakket worden afgevangen door de kruislings op elkaar liggende groeven die zijn aangebracht in de filterringen. De filtratie potentie is volgens de leverancier vergelijkbaar met de dieptefiltratie zoals behaald bij langzame zandfiltratie (Tabel 3-3). Het systeem gebruikt een automatisch multi-jet nozzle systeem die van binnenuit het neergeslagen vuil spoelt zodra het drukverschil tussen de voor- en achterkant van de ringenfilters een ingestelde grenswaarde overschrijdt.



Figuur 3-3 UDI Galileo L ringenfilters

Technische specificaties per module:

- Filter opp.: 1500 cm²
- Max. druk: 10 bar
- Min. spoeldruk: 2,8 – 3,5 bar
- Spoelcapaciteit: 9 – 11m³/u
- Spoelwater: ± 60 ltr.
- Max. werk temperatuur: 60°C
- Aansluiting filter: 2"
- pH 4 – 11 resistent
- Filterringen 400 – 200 – 130 – 100 – 50 – 20 micron. 10 – 5 micron op aanvraag
- afhankelijk van fijnheid van de filterringen

Materialen:

- Filterhuis: glasvezelversterkt polyamide (optie: polypropyleen)
- Filterringen: polypropyleen
- Manifold: HDPE
- Solenoid: RVS 400, polyamide

- Afsluiter(s): kunststof
- Overige: polyamide, RVS, NBR

Dit systeem wordt thans met name gebruikt als voorzuivering voor bassinwater in de glastuinbouw. De fijne gradatie (5 micron, nominaal) wordt ook als voorfilter gebruikt bij RO-systemen. Dit systeem wordt ook gebruikt als pre-filtratie van desinfectie-apparatuur, als voorbereiding voor micro- en ultrafiltratie, als filtratie voor koelwatersystemen, water innname, recirculatiesystemen. Ervaringen als voorfiltratie bij infiltratiesystemen zijn er nog niet. In verband met zijn beperkte ruimtebeslag en vermoedelijk beperkte onderhoudsfrequentie kan dit systeem interessant zijn als voorfiltratie in dichtstedelijke gebieden.

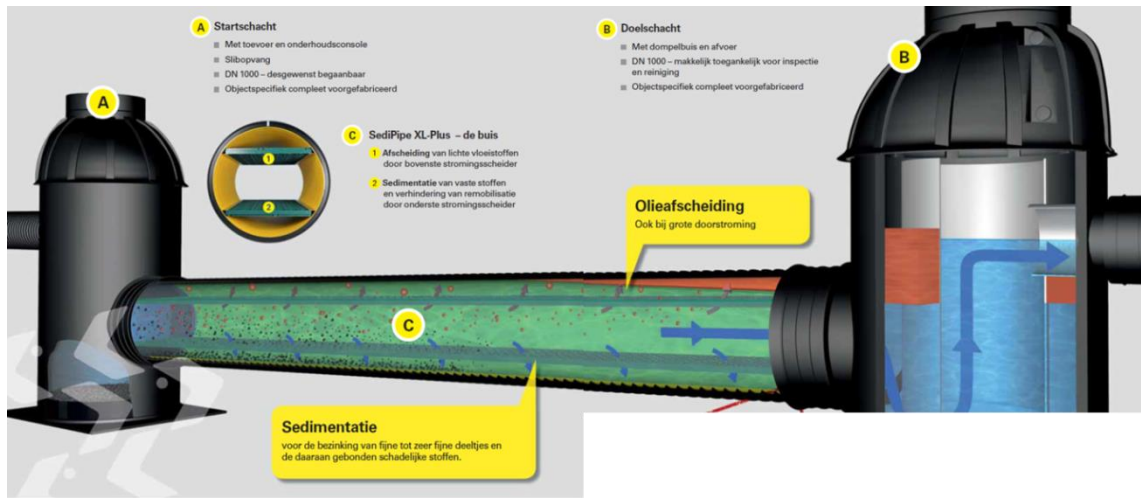
Tabel 3-3: overzicht van karakteristieken van Galileo-L filters.

Aspect	Parameters	Typische waarden
Capaciteit		Modulair, ca. 5 m ³ /h per eenheid.
Ruimtebeslag		Beperkt en modulair
Zuiveringsrendement	ZS	Verwijdering tot 5 micron (nominaal).
	Nitraten	Geen info
	PO ₄	Geen info
	Metalen	Geen specifieke info (waarschijnlijk vergelijkbaar aan zandfilters)
	OMIVE	Geen info (waarschijnlijk vergelijkbaar met zandfilters)
Onderhoud		Elke 2-3 weken controle het filter op werking, drukverschil en/of lekkages. Jaarlijks invetten rubberen delen. Het ringenpakket moet éénmaal per jaar handmatig worden gereinigd of, indien nodig, frequenter. Om aangroei van algen, plankton e.d. af te remmen, kan men de ringen dompelen in een tot 5% verdunde oplossing van chloorbleekloog. Alle O-ringen en overige rubbers dienen regelmatig met siliconenvet ingevet te worden voor optimaal functioneren van het filter.
	overige	
Kosten		Geen info

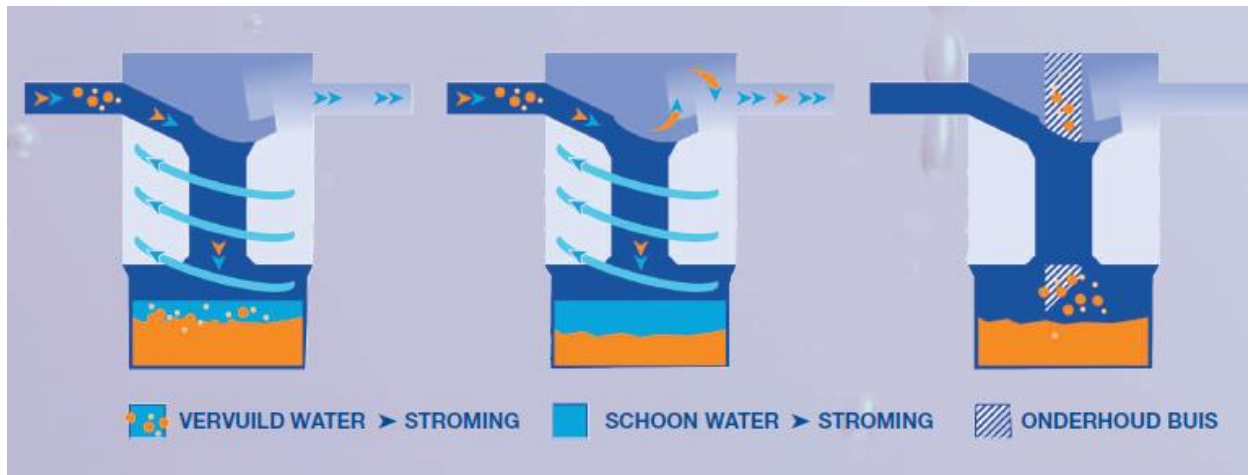
3.4 Geïntegreerde afscheidingstechnieken in hemel water afvoer (HWA)-systemen

Met de komst van gescheiden HWA-systemen (afvoerend op oppervlaktewater) in het stedelijke gebied zijn een aantal technieken ontwikkeld om zwevende stof (en de daaraan hechtende verontreinigingen zoals metalen, PAKs en PO₄) en olie te verwijderen. Hiervoor worden doorgaans 'in-line' oplossingen toegepast, allen gebaseerd op sedimentatie en vloeistofscheiding. Voorbeelden zijn de Sedipoint® en Sedipipe® (Figuur 3-4) van Fraenkische en het Certaro HDS filter van Wavin (Figuur 3-5). In alle gevallen dient het verzamelde slib verwijderd te worden middels een zuigwagen (ca. jaarlijks). Maatgevende capaciteiten zijn ca. 50 m³/h (Sedipoint, Certaro) en 1500 m³/h (Sedipipe). Met de Sedipipe kunnen zodoende enkele hectares (straatwater) behandeld worden.

Afgaande op de beschikbare gegevens (Tabel 3-4) van deze in-line oplossingen lijkt toepassing als voorfiltratie voor ASR nuttig, maar niet doordat onvoldoende deeltjes verwijderd worden. Naschakeling met een fijnere filtratiestap (zoals Galileo L, of langzaam zandfilter) lijkt noodzakelijk om tot voldoende verwijdering van zwevend stof te komen.



Figuur 3-4 De SediPipe (Fraenkische)



Figuur 3-5 Dwarsprofiel van de Certaro HDS Pro Filter (Wavin)

Tabel 3-4: overzicht van karakteristieken van in-line HWA zuivering

Aspect	Parameters	Typische waarden
Zuiveringsrendement	ZS	Certaro: 80% van fractie >75 micron Sedipipe: 90% van fractie 2 - 60 micron bij lage stroomsnelheden
	Metalen	Indien gehecht aan verwijderde fractie
	NP	Indien gehecht aan verwijderde fractie
	OMIVE	Indien gehecht aan verwijderde fractie
	WZ	Geen verwijdering
Capaciteit		Sedipoint / Certaro: ca. 50 m ³ /h per eenheid Sedipipe: tot 1.500 m ³ /h per eenheid
Onderhoud		Jaarlijks uitzuigen
Overige		Onderzocht bij TU Delft / Leipzig Universiteit i.s.m. TAUW
Kosten		Sedipipe 600/24: 15 tot 20 kE. Voldoende voor

zuivering neerslag van ca. 2.5 ha

3.5 Natuurlijke waterzuiveringssystemen

In afvalwaterzuiveringen wordt, zeker in ontwikkelde landen met hoge bevolkingsdichtheid, doorgaans gebruik gemaakt van beluchte actief-slibsystemen in combinatie met bezinkingsystemen en/of membraanbioreactoren en verdere slibverwerking. Deze technologieën hebben een relatief hoog energieverbruik, maar daartegenover staat een gunstig ruimtebeslag. Het werkingsprincipe is voornamelijk op microbiologische afbraak van nutriënten gebaseerd. Als duurzaam, onderhoudsvriendelijk en goedkoop alternatief raken helofytenfilters, of ook wel macrofytenfilters, moerasfilters, vloeiwelden of rietmoerassen genoemd, steeds meer in zwang. Helofyten zijn tweejarige of vaste planten waarvan de onder water zittende knoppen een ongunstige periode, zoals een winter, kunnen overleven. Helofyten zijn een onderklasse van macrofyten: aquatische planten die in of nabij het water groeien.

Helofytenfilters worden doorgaans op een folie of basin geconstrueerd om grondwaterverontreinigingen te voorkomen. In Nederland wordt met name met helofytenfilters geëxperimenteerd ten behoeve van verbeterd hemelwaterafvoer, recreatie en waterberging (bijvoorbeeld Erasmusgracht, Amsterdam¹ of landgoed Het Lankheet² in de omgeving van Haaksbergen), maar ook kleinschalige systemen voor industrieel of agrarisch proceswaterbehandeling en communale (riool)waterbehandeling³ komen voor. In het buitenland worden aangelegde moerassen met name ingezet bij agrarische toepassingen (Scholz et al. 2007) en afvalwaterverwerking van mijnindustriën (Sheoran & Sheoran 2006). Verschillende typen worden onderscheiden (Figuur 3–7). Het meest eenvoudige type is het vloeiveld, waarbij het verontreinigde water over de bodem van een moeras tussen de beplanting door wordt geleid en het in contact is geweest met de buitenlucht. Daarnaast zijn er horizontaal en verticaal doorstroomde helofytenfilters. Bij het horizontale doorstroomde helofytenfilters zakt het verontreinigde water door de bodem langs de wortels van helofyten. Dit type filter heeft als ondergrond vaak grof zand en grind.

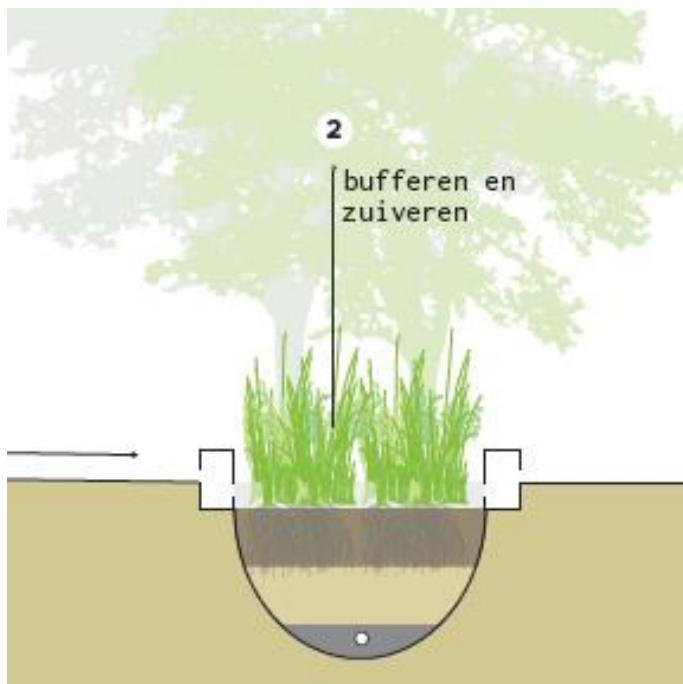
Voor beperkte hoeveelheden vuilwater worden vaak verticaal doorstroomde helofytenfilters gebruikt. Hierbij zakt het verontreinigde water langs de plantenwortels in ongeveer 24 uur door fijn zand waarmee een zinkput is gevuld. Voorzorgsmaatregelen zijn wel nodig: verstopping van de helofytenfilters dient te worden voorkomen door gebruik te maken van een voorgeschakelde zandfilter of kaarsenfilter. De beste resultaten met betrekking tot nutriëntverwijdering worden geboekt met een hybride-systeem van een horizontaal met verticaal nageschakeld helofytenfilter. Een dergelijk hybride filter gaat ten koste van meer landgebruik, en terugspoelen met water en/of lucht is noodzakelijk om de filterkoeklaag te verwijderen. Ook dient het riet jaarlijks gemaaid te worden. Indien verwijdering van organische micro's en zware metalen plaatsvindt, dient het maaisel apart afgevoerd te worden naar een verwerker/verbrander.

Een variant voor het stedelijke domein is thans in ontwikkeling bij Field Factors (www.fieldfactors.com, zie Figuur 3–6). Proeven met deze opzet staan voor 2017 gepland.

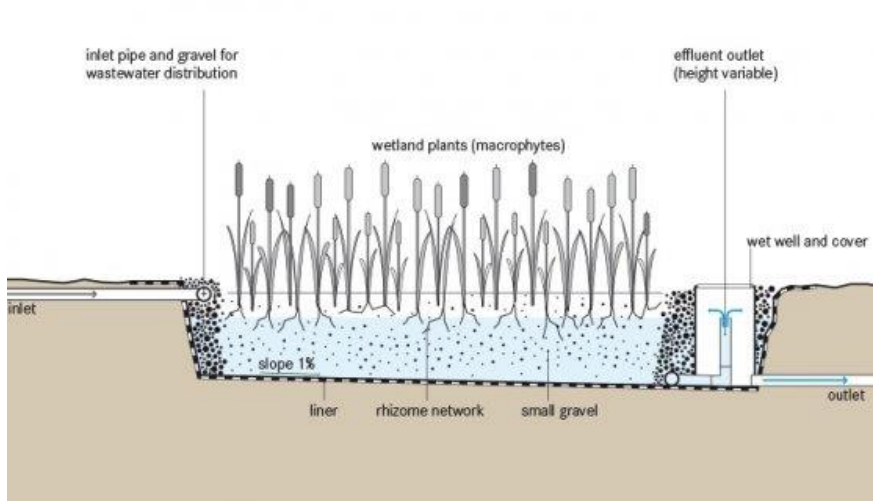
¹ Erasmusgracht Amsterdam: <http://www.urbangreenbluegrids.com/projects/helophyte-filter-on-erasmusgracht-amsterdam/>

² http://www.hetlankheet.nl/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=29

³ voorbeeld Rijkswaterstaatkantoor (<http://www.groenblauwenetwerken.com/projects/rijkswaterstaat-office-in-terneuzen-the-netherlands/>)

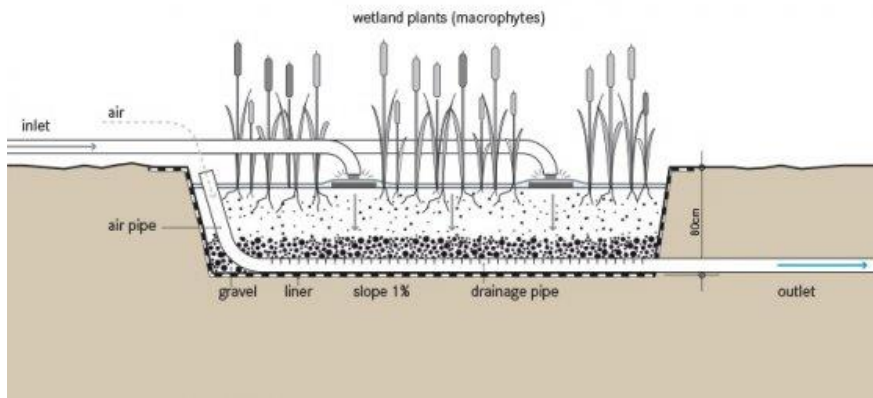


Figuur 3-6: de micro urban wetland, thans in ontwikkeling. Bron: www.fieldfactors.com



(a) Horizontaal doorstroomd helofytenfilter

(b) Verticaal doorstroomd helofytenfilter



Figuur 3-7: Horizontaal en verticaal doorstroomde helofytenfilters.

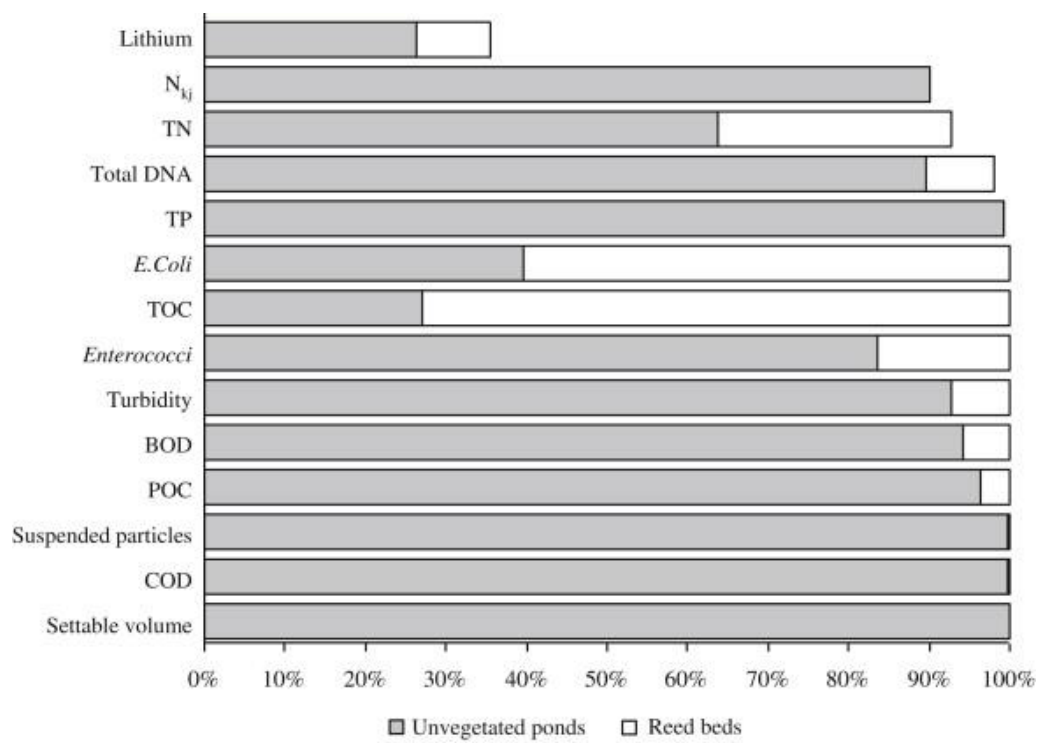
Tabel 3-5: overzicht van karakteristieken van helofytenfilters

Aspect	Parameters	Typische waarden
Capaciteit		Afhankelijk van belasting en beschikbaar oppervlak.
Ruimtebeslag		Groot, maar in te passen in een (groene omgeving). > 2 m ² per 1 m ³ /h
Zuiveringsrendement	ZS	80 – 95 % reductie tot onder de 10 mg/L zwevende stof, afhankelijk van constructie en gebruikte helofytensoort(en). Filtersystemen waarbij in effluent slechts 0,2 NTU rest, zijn mogelijk (Lin et al. 2003)
	zouten	afhankelijk van gebruikte, zout-intolerante plantsoorten (halofyten), kan de zoutvrucht verminderd worden
	PMO	fecale coliformen ≤ 2 tot 3 log ₁₀ -verwijdering; LAS > 90 %
	Met	Metalenverwijdering is vergelijkbaar met een LZF, de metalen worden opgenomen in de helofyten.
	OMIVE en NP	BOD = 80 to 90 %; stikstofgehalte = 15 to 40 %; fosfaatgehalte = 30 to 45 %;. Verwijdering van OMIVE is seizoensgebonden en kan fluctueren van 50 tot meer dan 90% verwijdering. Zie verder Tabel 3-6 voor een voorbeeld. Beluchting van de toplaag kan de verwijdering bevorderen.
Onderhoud		Onbekend. Vermoedelijk dient de beplanting 's winters te worden verwijderd
Kosten		Investering afhankelijk van beschikbaar oppervlak en ruimte, onderhoudskosten: laag

Bronnen: (Kivaisi 2001; Cooper 1999; Mulling et al. 2013; Lin et al. 2003; Scholz & Lee 2005; Cheng et al. 2002).

Tabel 3-6: verwijdering van OMIVE door vloeijing van afvalwater (combinatie van industrieel- en communaal afvalwater) over helofytenfilter in Spanje (Matamoros et al. 2008). n.r.: geen verwijdering gemeten.

	Concentratie in afvalwater (gemiddelde) ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Verwijdering (%)	
		Juni 2005	Februari 2006
<i>Geneesmiddelen</i>			
Ibuprofen	0.04±0.03	96±2	95±1
Naproxen	0.34±0.06	92±1	52±9
Diclofenac	1.25±0.11	96±1	73±7
Ketoprofen	2.10±0.70	99±1	97±1
Clofibric acid	0.07±0.01	36±3	32±8
Carbamazepine	0.37±0.08	30±10	47±6
<i>Veterinaire medicijnen</i>			
Flunixin	1.06±1.36	n.r.	64±3
<i>Cosmetische producten</i>			
Galaxolide	2.86±0.02	85±2	88±1
Tonalide	0.86±0.10	88±2	90±1
<i>Pesticiden</i>			
Mecoprop	7.80±3.24	79±2	91±1
MCPA	2.01±1.50	93±1	79±2
terbutylazine	2.30±1.82	1±14	80±1
hydraulische verblijftijd (uren)	-	720	720



Figuur 3-8: verwijdering van diverse parameters door bufferbasins zonder begroeiing en nageschakelde (horizontaal bedreven) rietbedden na inzameling van rioolwater in Grou, Friesland (Mulling et al. 2013).

3.6 Waterbodemfiltratie

Waterbodemfiltratie (ook wel: ‘pandbodemfiltratie’, ‘riverbed filtration’) is gebruikt als draincollectoren bij PWN en Waternet (Waterleidingduinen, AWD) om de verstoppingspotentie van infiltratiewater te verlagen bij infiltratieputten, de capaciteit te verhogen zonder extra ruimtebeslag en voor te zuiveren zonder extra chemicaliën. Het wordt gekenmerkt door een relatief hoge stroomsnelheid en korte verblijftijd. Dit systeem wordt gebruikt bij de Freshmaker in Ovezande (Figuur 3–9). Bij het Orange County Water District (OCWD, California, USA) wordt deze techniek als ‘riverbed filtration’ in de Santa Ana River op grote schaal toegepast als filtratiestap voorafgaand aan bekkeninfiltratie. In de Amsterdamse Waterleidingduinen is pandbodemfiltratie getest (Figuur 3–10)

Het systeem bevat een plastic folie waarop grind ligt met daarin de drains. Bovenop het grind wordt een pakket met fijn zand gelegd, welke de filtratie moet uitvoeren. De aanwezigheid van plastic folie onder het drainsysteem dient als preventie van de instroming van anoxisch grondwater.



Figuur 3–9: Waterbodemfiltratie ter plaatse van Freshmaker Ovezande (afstromend oppervlaktewater)

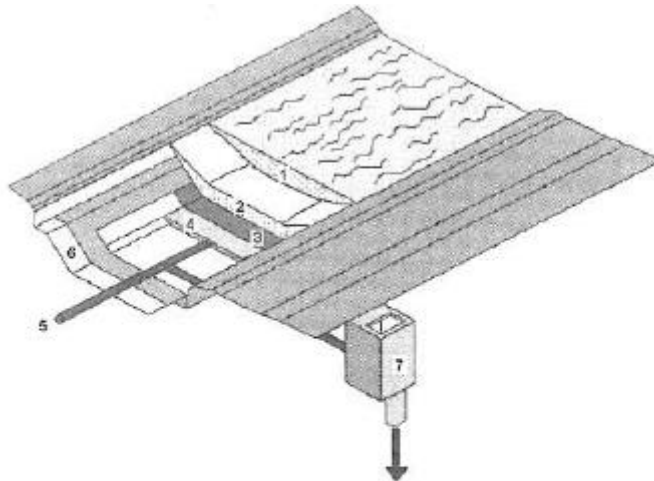


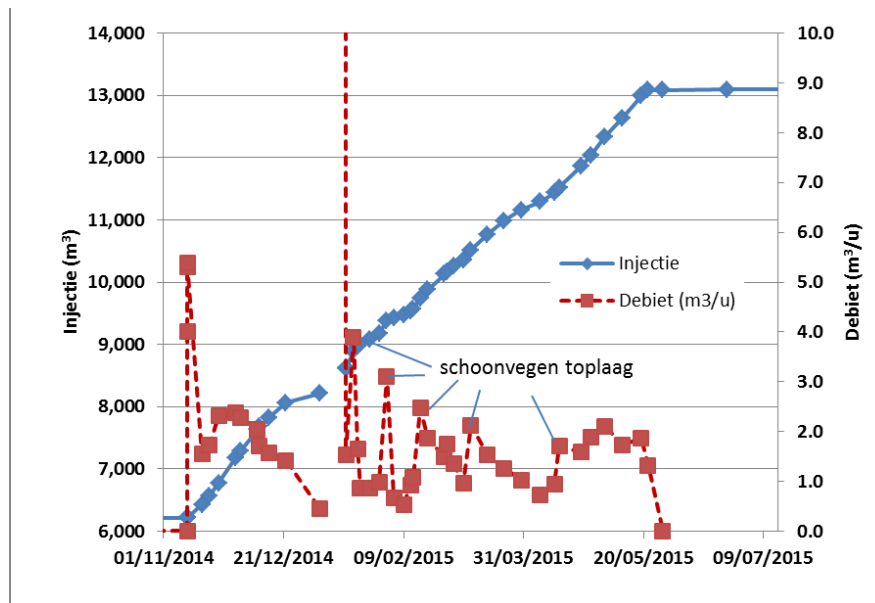
Figure 1. Cross-section of the bottom filter in the supply channel. 1: pre-treated river water, 2: fine aeolian dune sand, 3: nylon fabric, 4: gravel pack, 5: drainage system, 6: impermeable plastic sheet, 7: injection well.

Figuur 3–10: Pandbodemfiltratie ter plaatse van waterleidingduinen Amsterdam (Van Duivenbode en Olsthoorn, 2002)

Risico bij waterbodemplatatie is verstopping van de waterbodem. Zowel in Ovezande (Figuur 3-11) als in de Waterleidingduinen maakte dit frequente verwijdering van de vuillaag op het filter noodzakelijk. In Ovezande start daarom in 2016 een test met flotatie (regelmatig inbrengen luchtballen in zandlaag) om de vuillaag voortdurend te verwijderen van het zanddek en af te voeren met de stroming van het oppervlaktewater met, als gevolg, hogere debieten. Voor de Amsterdamse Waterleidingduinen is een robot ontwikkeld om het systeem schoon te houden. Onbekend is waar daarbij het slib gelaten werd. Voor zover bekend is het systeem hier niet meer in gebruik. De zuiveringsresultaten waren op beide locaties goed: de behaalde MFI's waren tussen de 2 en 5 s/l² (AWD) en ca. 7 s/l² (Ovezande). Bij OCWD werden goede resultaten gehaald (verwijdering zwevend stof, metalen, stikstof, chlorophyll A en verlaging TOC). Wel toonde het filter ook hier langzame verstopping.

Tabel 3-7: overzicht van karakteristieken van waterbodemplatatie, mede op basis van Stuyfzand et al. (2012)

Aspect	Parameters	Typische waarden
Capaciteit		Afhankelijk van belasting en beschikbaar oppervlak. De capaciteit kan worden berekend. Voor filtratiesnelheden wordt doorgaans verwezen naar LZF.
Ruimtebeslag		Zeer beperkt door verwerking in pand / rivier.
Zuiveringsrendement	ZS	De MFI kan dalen tot 2-5 s/L ² (van 10-35 zoals in de Waterleidingduinen en tot 0.23 NTU (van 0.26 in AWD). Tot 99% reductie van zwevend stof (OCWD)
	NO ₃	In AWD van 11.3 tot 10.7 (mg/l). N-kjeldahl reductie van 99% (OCWD)
	PO ₄	Geen significante verwijdering (AWD)
	Met	Geen significante verwijdering (AWD), 80 - 99% verwijdering (OCWD)
	OMIVE	Geen info
Onderhoud		Flotatie om de vuillaag te verwijderen of jaarlijkse slibuiming, bijvoorbeeld met mobiele onderwater-robot
Kosten		De kosten komen overeen met de kosten voor langzame zandfiltratie. Reden hiervoor is dat de benodigde infrastructuur vergelijkbaar is. Echter, door integratie in bestaande waterlopen kan bespaard worden op aanschaf (of pacht) van grond.



Figuur 3-11: Ontwikkeling debiet vanaf pandbodemplatatie Ovezande in 2014/2015.

3.7 Geavanceerdere zuiveringssystemen

Ten opzichte van de meer conventionele inzet van zelfreinigende filters en langzame zandfiltratie voor vooral de verwijdering van zwevend stof, zijn geavanceerde oplossingen beschikbaar die een gunstig ruimtebeslag kennen en een effectievere verwijdering van bepaalde stoffen geven. Tegelijkertijd bestaat er geen zuiveringsproces die zwevende stof, nutriënten, OMIVE, zouten, metalen en dergelijke in één keer kan verwijderen. Het is dus nodig om verschillende technologieën in serie te schakelen. Er zijn twee mogelijke routes met gebruik van geavanceerde zuivering beschouwd:

1. Zuivering op basis van omgekeerde osmose (RO, ook wel hyperfiltratie genoemd);
2. Zuivering op basis van adsorptie en omzetting door geavanceerde oxidatie.

Voor deze routes zijn verschillende variaties van aaneengeschakelde technologieën mogelijk.

Bij de toepassing van hyperfiltratie in route 1 is het van belang om daarvoor zoveel mogelijk deeltjes, nutriënten en zouten af te vangen om scaling (kristallisatie in de membraanmodule door zouten) en biofilmvorming te voorkomen zodat er minder onderhoud nodig is op de membraanmodules. Ook zwevende stof dient zoveel mogelijk in een voorzuiveringstap verwijderd te worden om vroegtijdige verstopping tegen te gaan. Hiertoe kan een schakeling van een ultrafiltratie en een anionenwisselaar dienen. Indien alleen zwevend stof verwijderd dient te worden kan gekozen worden voor de zelfreinigende filters (zoals is gepresenteerd in paragraaf 3.3) of kaarsenfilters. Het nadeel van hyperfiltratie is de productie (en dus vereiste verwerking/lozing) van een afvalstroom van het gevormde concentraat, welke een hoge concentratie van metalen, OMIVE en zouten bevat.

De toepassing van geavanceerde oxidatie in route 2 is gebaseerd op omzetting gevolgd door adsorptie door actiefekoolfiltratie. Deze technieken hebben nauwelijks invloed op de zoutconcentratie. Voor het adsorptief materiaal (de harsen die gebruikt zijn in ionenwisseling, de actieve kool in actieve-koolfilters) geldt dat deze van tijd tot tijd moeten worden geregenereerd of vervangen, afhankelijk van de belasting van het materiaal. De harsbolletjes die gebruikt worden voor ionenwisseling moeten op regelmatige basis worden geregenereerd met zout water om de nutriënten af te spoelen. Dit creëert een zout en nutriëntenrijk effluent, of een effluent met hoge metaalconcentraties. Bij geavanceerde oxidatie wordt ozon gedoseerd, of waterstofperoxide in

combinatie met UV-licht. Ozon en gevormde zuurstofradicalen (zeer reactieve zuurstofmoleculen) katalyseren de omzetting van organische microverontreinigingen. Het UV-licht zorgt tevens voor de afdoding van micro-organismen en virussen. Ook hier is een voorfiltratiestap noodzakelijk om de troebelheid van het water te verminderen en de transmissie van UV-licht te verhogen ten behoeve van het geavanceerde oxidatieproces. De microverontreinigingen worden geoxideerd tot metabolieten, welke voor een groot gedeelte biologisch afbreekbaar zijn en worden afgevangen in het nageschakelde actiefkoolfilter.

Tabel 3-8: globale kenmerken van verschillende geavanceerde technologieën om OMIVE, nutriënten en DOC te verwijderen. Bron: diverse studies KWR

Technologie	Zuiveringsrendement					Kenmerken en aandachtspunten
	Zwevend stof	Zouten	Metalen	Nutriënten en DOC	OMIVE	
Ionenwisseling	-	++	++ (bij kationen-wisselaar)	++ (bij anionen-wisselaar)	-	Investeringskosten zijn laag, operationele kosten zijn (relatief) gemiddeld tot hoog door inzet van monitoring en regeneratie van hars.
Ultrafiltratie	++	-	-	-	-	UF-membranen kunnen betrouwbaar worden bedreven indien de membranen op regelmatige basis worden gespoeld. Na verloop van tijd zullen de membraanprestaties terugvallen (kleinere waterflux) door vervuiling van het membraan en moeten worden vervangen om de prestaties op peil te houden. Daarnaast is er het concentraat en spoelwater wat dient te worden verwerkt. Operationele kosten zijn gemiddeld en afhankelijk van energieprijzen. Investeringskosten zijn gemiddeld.
Actief kool	-	-	-	+	++	Afhankelijk van de belasting van de actieve koolfilters en de mate van voorzuivering, is vervanging of regeneratie van de actieve kool door de fabrikant noodzakelijk om de adsorptiecapaciteit op peil te houden. Actieve kool adsorbeert polaire verbindingen slecht.
Reverse osmosis	+	++	++	+	+	Zie ook de aspecten genoemd bij UF-filtratie.
Geavanceerde oxidatie	-	-	-	+/-	+	Vereist continue aanvoer van waterstofperoxide of ozon, high-tech apparatuur is benodigd en de bedrijfsvoering brengt relatief hoge kosten met zich mee. Het voordeel is dat het proces bij goed ontwerp betrouwbaar is en zeer effectief in omzettingen van OMIVE en afdoding van micro-organismen.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Evaluatie en handreiking voor selectie van technieken voor snelle voorzuivering

Duidelijk is dat er verschillende mogelijkheden zijn om een snelle voorzuivering in het kader van ASR te realiseren. De uiteindelijke keuze voor de toe te passen voorzuivering is afhankelijk van het gewenste zuiveringsrendement (grotendeels afhankelijk van de bron van het water), beschikbare ruimte en budget, eventuele vergroeningsopgaves, en de beschikbare inspanning in beheer en onderhoud.

Om de keuze voor een passende voorzuivering te ondersteunen zijn twee tabellen samengesteld. In Tabel 4-1 is de kwalitatieve inschatting van de belangrijkste kenmerken van de beschouwde zuiveringstechnologieën. In Tabel 4-2 is de wijze van inbedding (natuurlijk versus technologisch) uitgezet tegen de mate van innovatie.

Tabel 4-1: Overzicht van mogelijkheden voor keuze van kwalitatieve waarde-inschattingen voor enkele kenmerken van zuiveringstechnologieën

	Zuiveringsrendement	Ruimtebeslag	Onderhoud	Kosten
Voorfilter + langzaam zandfilter	++	-	+	+
Fuzzy filter	++	-	++	+/-
Galileo -L	+	++	++	+/-
Waterbodemplatatie	++	+	+/-	++
In-line filtratie	--	++	+	++
Voorfilter + helofytenfilter (Micro Urban Wetland)	+/-	-	++	+/-
Geavanceerde zuivering	++	++	-	--

++ = gunstig; -- = ongunstig; +/- variabel of gemiddeld.

Tabel 4-2: Overzicht van mogelijkheden met daarin de mate van inbedding versus mate van innovatie. Afhankelijk van de ruimtelijke inbedding, maatschappelijke en economische motieven en innovatie-aspecten zijn voorkeuren via de as 'inbedding' uit te zetten tegen de mate waarin een technologie zich bewezen heeft

Inbedding	Bewezen technologie*	Innovatief
Voldoende ruimte met natuur-landschappelijke inbedding/maatschappelijk belang	Helofytenfilter, met voorgeschakeld voorfilter of in-line filtratie	Micro Urban Wetlands
Voldoende ruimte met voorkeur voor technologische inbedding	Langzaam zandfilter, met voorgeschakelde filtratiestap, eventueel toevoeging van UV of actief kool als borging	- Micro Urban Wetlands met toevoeging (UV, actief kool) - Waterbodemplatatie met regelmatige verwijdering vuillaag
Beperkte ruimte: technologische oplossingen	Geavanceerde zuivering*: filtratie+hyperfiltratie, ionwisseling, geavanceerde oxidatie	Fuzzy filter of Galileofilter, met nageschakelde geavanceerde zuiveringstap indien nodig

* Bij bepaalde geavanceerde zuiveringen ontstaat er een geconcentreerde (zoute) reststroom: bij hyperfiltratie wordt dit concentraat continu geproduceerd, bij ionenwisseling ontstaat deze bij regeneratie van de hars. Het lozen van deze reststroom moet plaats kunnen vinden op het riool, aangezien lozing in oppervlaktewater / bodem doorgaans niet wordt toegestaan.

4.2 Aanbevelingen voorzuivering regenwater voor ASR

Uit Tabel 4-1 en Tabel 4-2 zijn per situatie verschillende voorkeuren voor toe te passen technieken te herleiden. In de praktijk blijkt dat ruimtelijke inpassing en impact op de omgeving belangrijke drivers zijn, hetgeen in het voordeel kan werken voor de meer 'nature-based' oplossingen, zoals helophytenfilters en waterbodemplatratie. Bij gebrek aan ontwerprichtlijnen is aan te bevelen om vooralsnog de randvoorwaarden (filtratiesnelheid, opbouw van het medium) en dus het te verwachten zuiveringsrendement van de LZF aan te houden.

Technische oplossingen zoals terugspoelende filters kunnen in potentie tot voldoende verwijdering van zwevend stof leiden. Helaas zijn de ervaringen bij de vereiste zeer fijne filtratie (<5 micron) van afstromend hemelwater en/of oppervlaktewater beperkt. Een combinatie met een voorfilter (zoals snelle zandfiltratie) wordt sowieso aanbevolen om de belasting van deze fijne filters met zwevend stof zo veel mogelijk te beperken.

Voor alle opties geldt: bij onvoldoende verwijdering van OMIVE en/of virussen/bacteriën (afhankelijk van beoogde hergebruik en verwijdering in aquifer) wordt een nageschakeld actief koolfilter (OMIVE) of nageschakelde UV-desinfectie vereist.

Met de recente opkomst van ASR als oplossing voor zoetwatervoorziening en diepinfiltratie ter voorkoming van wateroverlast worden in enkele projecten infiltratieputten gemaakt zonder de mogelijkheid om terug te spoelen ('backwash'). Zelfs bij grondige voorzuivering ligt putverstopping hierbij echter op de loer, hetgeen in sommige project ook al wordt waargenomen. Aanbevolen wordt om deze mogelijkheid (incl. spui voorziening) daarom altijd in de installatie te verwerken en al bij de eerste tekenen van verstopping de ASR-put preventief terug te spoelen (cf. Pyne (2005) en Van Duivenbode en Olsthoorn (2002)).

4.3 Aanbevelingen vervolgonderzoek

Aanbevolen wordt om vervolgonderzoek te richten op het zuiveringsrendement, de systeemeisen en het vereiste onderhoud voor twee kansrijke technieken:

1. In de ruimte geïntegreerde nature-based voorzuiveringstechnieken (helophyten, micro urban wetland, waterbodemplatratie);
2. Compacte, technische oplossingen voor voorzuivering (zoals Galileo L, Fuzzy Filter, indien nodig i.c.m. met voor- of nafiltratatie).

Als laatste wordt aanbevolen om ook de effectiviteit van terugspoelen beter in beeld te brengen om:

3. Betrouwbare kengetallen per type aquifer voor te verwachten mitigatie van putverstopping door terugspoelen ASR-bronnen ('backwashen') te verkrijgen.

5 Beschikbare literatuur

Zuurbier, K., M.L. van der schans, M. Paalman, P de Putter T. te winkel, J. Velstra G. Oude Essink (2015). Technisch-juridische handreiking risicobeoordeling 'ondergrondse waterberging.' STOWA 2015-35a.	beoordelen milieurisico's en overige risico's voor omgeving.
Hoogvliet, M., H. van Meerten, M. Paalman, M.L. van der Schans, M. Paalman, R. Stuurman, K. Broks (2016). Ondergronds bergen en terugwinnen van water in stedelijk gebied. STOWA 2016-01 .	Ervaring van infiltreren afstromend hemelwater in stedelijk gebied
TCB, Technische Commissie Bodem (2009). advies Diepinfiltratie van afvloeiend hemelwater. TCB A047(2009).	Milieurisico's van diepinfiltratie afstromende hemelwater
Stuyfzand et al. (2012). Haalbaarheid van ASR in Hollands Kustduinen. KWR 2012.082	Breed overzicht ervaring met ASR in drinkwater en glastuinbouw. Eisen aan infiltratiewater ter voorkoming van putverstopping bij continue bedreven systeem Ervaring met voorzuivering middels drain in waterbodem Waternet
Pyne, R.D.G., 2005. Aquifer Storage Recovery – A guide to Groundwater Recharge Through Wells. ASR Systems LLC, Gainesville, Florida, USA, 608 pp.	Belangrijkste handboek rondom ASR, gevuld met rijke ervaringen David Pyne. Met name ervaringen binnen grootschalige projecten USA.
Russel, M., (ed.), 2013. Clogging issues associated with managed aquifer recharge methods, 212 pp.	Monograph samengesteld door de IAHR MAR specialist group en bevat met name praktijkervaringen rondom putverstopping bij MAR.
Van Duivenbode en Olsthoorn (2002), A pilot study of deep-well recharge by Amsterdam Water Supply KIWA Mededeling 79 (1984), Ervaringen met diepinfiltratie	Ervaringen pandbodemplatatie in Amsterdamse Waterleiding duinen.
Caliskaner, O., Tchobanoglous, G. and Carolan, A., 1999. High-rate filtration with a synthetic compressible media. Water environment research, 71(6): 1171-1177. Gibbs, S., 2009. Smart Management for Public works, Water & Wastes digest. Poff, J. and Wilson, B., 2010. Flow pacing for optimum results, Water & Wastes Digest. Visser, A., 2011. N-en P-verwijdering met Fuzzy filtratie op de RWZI Nieuw Vossemeer. Rapport/STOWA (2011 12) Show all parts in this series.	Ervaringen met de Fuzzy filter

<p>Diels, L. et al., 2003. Heavy metals removal by sand filters inoculated with metal sorbing and precipitating bacteria. <i>Hydrometallurgy</i>, 71(1), pp.235-241.</p> <p>Hijnen, W.A.M. et al., 2004. Elimination of viruses, bacteria and protozoan oocysts by slow sand filtration. <i>Water Science and Technology</i>, 50(1), pp.147-154. Available at: http://wst.iwaponline.com/content/50/1/147.</p> <p>Huisman, L. & Wood, W.E., 1974. <i>Slow sand filtration</i>, World Health Organisation.</p> <p>Logsdon, G.S. et al., 2002. Slow sand filtration for small water systems. <i>Journal of Environmental Engineering and Science</i>, 1(1), pp.339-348.</p>	Ervaringen met langzame zandfiltratie (LZF)
<p>Cheng, S. et al., 2002. Efficiency of constructed wetlands in decontamination of water polluted by heavy metals. <i>Ecological Engineering</i>, 18(3), pp.317-325. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092585740100091X</p> <p>Cooper, P., 1999. A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems. <i>Water Science and Technology</i>, 40(3), pp.1-9.</p> <p>Diels, L. et al., 1999. Method and plant for purification of metal containing water. Available at: http://www.google.com/patents/EP0952120A1?cl=en.</p> <p>Kivaisi, A.K., 2001. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. <i>Ecological engineering</i>, 16(4), pp.545-560. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857400001130.</p> <p>Lin, Y.-F., Jing, S.-R. & Lee, D.-Y., 2003. The potential use of constructed wetlands in a recirculating aquaculture system for shrimp culture. <i>Environmental Pollution</i>, 123(1), pp.107-113.</p> <p>Mulling, B.T.M. et al., 2013. Suspended particle and pathogen peak discharge buffering by a surface-flow constructed wetland. <i>Water research</i>, 47(3), pp.1091-1100. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135412008445.</p> <p>Matamoros, V., García, J. & Bayona, J.M., 2008. Organic micropollutant removal in a full-scale surface flow constructed wetland fed with secondary effluent. <i>Water Research</i>, 42(3), pp.653-660. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135407005465.</p> <p>Scholz, M. et al., 2007. The integrated constructed wetlands (ICW) concept. <i>Wetlands</i>, 27(2), pp.337-354.</p> <p>Scholz, M. & Lee, B.-H., 2005. Constructed wetlands: a review. <i>International journal of environmental studies</i>, 62(4), pp.421-447.</p> <p>Sheoran, A.S. & Sheoran, V., 2006. Heavy metal removal mechanism of acid mine drainage in wetlands: a critical review. <i>Minerals engineering</i>, 19(2), pp.105-116</p>	Ervaringen met natuurlijke waterzuiveringsystemen
<p>Schippers, J.C. and Verdouw, J., 1980. The modified fouling index, a</p>	Modified fouling index (MFI)

<p>method of determining the fouling characteristics of water. <i>Desalination</i>, 32: 137–148.</p> <p>Chinu, K.J. et al., 2009. Biofilter as pretreatment to membrane based desalination: Evaluation in terms of fouling index. <i>Desalination</i>, 247(1), pp.77–84. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916409004895.</p>	
<p>Stuyfzand, P.J., Nienhuis, P., Antoniou, A. and Zuurbier, K., 2012. Haalbaarheid van ondergrondse berging via A(S/T)R in Holland's kustduinen.</p> <p>Zuurbier, K.G., Zaadnoordijk, W.J. and Stuyfzand, P.J., 2014. How multiple partially penetrating wells improve the freshwater recovery of coastal aquifer storage and recovery (ASR) systems: A field and modeling study. <i>Journal of Hydrology</i>, 509(0): 430–441.</p>	Overzicht ervaringen met ASR in kustgebieden
<p>Zuurbier, K.G., Hartog, N. and Stuyfzand, P.J., 2016. Reactive transport impacts on recovered freshwater quality during multiple partially penetrating wells (MPPW-)ASR in a brackish heterogeneous aquifer. <i>Applied Geochemistry</i>, 71: 35–47.</p>	Waterkwaliteit veranderingen door ASR
<p>Zuurbier, K., M.L. van der schans, M. Paalman, P de Putter T. te winkel, J. Velstra G. Oude Essink (2015). Technisch-juridische handreiking risicobeoordeling 'ondergrondse waterberging.' STOWA 2015–35a.</p>	Beoordelen milieurisico's en overige risico's voor omgeving.
<p>Hoogvliet, M., H. van Meerten, M. Paalman, M.L. van der Schans, M. Paalman, R. Stuurman, K. Broks (2016). Ondergronds bergen en terugwinnen van water in stedelijk gebied. STOWA 2016–01.</p>	Ervaring van infiltreren afstromend hemelwater in stedelijk gebied
<p>TCB, Technische Commissie Bodem (2009). advies Diepinfiltratie van afvloeiend hemelwater.</p>	Milieurisico's van diepinfiltratie afstromende hemelwater
<p>Stuyfzand et al. (2012). Haalbaarheid van ASR in Hollands Kustduinen. KWR 2012.082</p>	Overzicht ervaring met ASR in drinkwater en glastuinbouw. Eisen aan infiltratiewater ter voorkoming van putverstopping bij continue bedreven systeem Ervaring met voorzuivering middels drain in waterbodem Waternet
<p>Pyne, R.D.G., 2005. <i>Aquifer Storage Recovery – A guide to Groundwater Recharge Through Wells</i>. ASR Systems LLC, Gainesville, Florida, USA, 608 pp.</p>	Belangrijkste handboek rondom ASR, gevuld met rijke ervaringen David Pyne. Met name ervaringen binnen grootschalige projecten USA.
<p>Russel, M., (ed.), 2013. <i>Clogging issues associated with managed aquifer recharge methods</i>, 212 pp.</p>	Monograph samengesteld door de IAH MAR specialist group en bevat met name praktijkervaringen rondom putverstopping bij MAR.
<p>Van Duivenbode en Olsthoorn (2002), A pilot study of deep-well recharge by Amsterdam Water Supply</p> <p>KIWA Mededeling 79 (1984), Ervaringen met diepinfiltratie.</p>	Ervaringen pandbodemfiltratie in Amsterdamse Waterleiding duinen.

I Bijlage: normen infiltratiebesluit bodembescherming

BIJLAGE 1 IB (BEHOORT BIJ ARTIKEL 3, EERSTE LID, VAN HET INFILTRATIEBESLUIT BODEMBESCHERMING)

nr.	stof	eenheid	Toetsingswaarde (opgelost) ¹
<i>MACRO PARAMETERS</i>			
1	zuurgraad (pH)	-	- 2
2	Zwevende stof	mg/l	0,5 ³
3	calcium (Ca ⁺⁺)	mg/l	- ²
4	chloride (Cl ⁻)	mg/l	200 ^{2,3}
5	waterstofcarbonaat (HCO ₃ ⁻)	mg/l	- ²
6	natrium (Na ⁺)	mg/l	120 ^{2,3}
7	ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/L-N	2,5
8	nitraat (NO ₃ ⁻)	mg/L-N	5,6 ^{2,3}
9	totaal-fosfaat (PO ₄ ²⁻ -tot)	mg/L-P	0,4
10	sulfaat (SO ₄ ²⁻)	mg/l	150 ²
11	fluoride (F ⁻)	mg/l	1
12	cyaniden totaal (CN (tot))	µg/l	10
<i>ZWARE METALEN</i>			
13	arseen (As)	µg/l	10
14	barium (Ba)	µg/l	200 ³
15	cadmium (Cd)	µg/l	0,4
16	cobalt (Co)	µg/l	20
17	chrom (Cr)	µg/l	2
18	koper (Cu)	µg/l	15
19	kwik (Hg)	µg/l	0,05
20	nikkel (Ni)	µg/l	15
21	lood (Pb)	µg/l	15
22	zink (Zn)	µg/l	65
<i>BESTRIJDINGSMIDDELEN</i>			
23	som van de bestrijdingsmiddelen	µg/l	0,5 ⁴
<i>Organochlorbestrijdingsmiddelen</i>			
24	som (org.chl.bestr.mid.)	µg/l	0,1
25	endosulfan	µg/l	0,05
26	-HCH	µg/l	0,05
27	-HCH (lindaan)	µg/l	0,05
28	DDT (incl.DDD en DDE)	µg/l	0,05
29	dichloorpropeen	µg/l	0,05
30	aldrin	µg/l	0,05
31	dieldrin	µg/l	0,05
32	endrin	µg/l	0,05
33	heptachloor	µg/l	0,05
34	heptachloorepoxide	µg/l	0,05
35	hexachloorbutadieen	µg/l	0,05
36	hexachloorbenzeen	µg/l	0,05
<i>Organofosforbestrijdingsmiddelen</i>			
37	azinfos-methyl	µg/l	0,1

38	dichloorvos	µg/l	0,1
39	dimethoat	µg/l	0,1
40	mevinfos	µg/l	0,1
41	parathion	µg/l	0,1
	<i>Triazines/triazinonen/aniïden</i>		
42	atrazine	µg/l	0,1
43	simazïn	µg/l	0,1
44	metolachloor	µg/l	0,1
	<i>Chloorfenoxxyherbiciden</i>		
45	2-methyl-4-chloorfenoxxy-azijnzuur (MCPA)	µg/l	0,1
46	mecoprop	µg/l	0,1
47	2,4-dichloorfenoxxy-azijnzuur (2,4 D)	µg/l	0,1
	<i>Ureumherbiciden</i>		
48	chloortoluron	µg/l	0,1
49	isoproturon	µg/l	0,1
50	metoxuron	µg/l	0,1
51	linuron	µg/l	0,1
	<i>Chloorfenolen</i>		
52	trichloorfenolen	µg/l	0,1
53	tetrachloorfenol	µg/l	0,1
54	pentachloorfenol	µg/l	0,1
	<i>Diversen</i>		
55	dinoseb	µg/l	0,1
56	2,4 dinitrofenol	µg/l	0,1
57	bentazon	µg/l	0,1
	<i>OLIE</i>		
58	minerale olie	µg/l	200
	<i>POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN (PAK's)</i>		
59	naftaleen	µg/l	0,1
60	anthraceen	µg/l	0,02
61	fenanthreen	µg/l	0,02
62	cryseen	µg/l	0,02
63	fluorantheen	µg/l	∑ 0,1
64	benzo(a)anthraceen	µg/l	
65	benzo(k)fluorantheen	µg/l	
66	benzo(a)pyreen	µg/l	
67	benzo(ghi)peryleen	µg/l	
68	ïndeno(123cd)pyreen	µg/l	
	<i>GEHALOGENEERDE KOOLWATERSTOFFEN</i>		
69	trichlooretheen	µg/l	0,5
70	tetrachlooretheen	µg/l	0,5
71	trihalomethanen (THM's)	µg/l	2 ⁵
72	dichloorfenolen	µg/l	0,5
73	adsorbeerbare organische halogeenvrbindingen (AOX)	µg/l	30 ⁶

¹ De toetsingswaarde voor zwevende stof betreft de niet opgeloste hoeveelheid materiaal.

² Punt van aandacht bij de vergunningverlening i.v.m. lokale situatie.

³ In het infiltratiewater mag 70 dagen per jaar een concentratie aanwezig zijn boven de hier genoemde, waarbij de volgende maxima niet overschreden mogen worden: zwevende stof 2 mg/l; Cl⁻ 300 mg/l; Na⁺ 180 mg/l en NO₃⁻ 11,2 mgN/l; Ba 300 µg/l.

⁴ Dit betreft de som van de concentraties van de in deze lijst genoemde bestrijdingsmiddelen, waarbij bepalingen waarvan het meetresultaat < detectiegrens is, een meetresultaat 0 wordt toegekend.

⁵ THM te bepalen als som van de concentraties van chloroform, broomdichloormethaan, dibroomchloormethaan en bromoform. Als een transportchloring wordt toegepast, is het toegestane maximum 70 µg/l.

⁶ Als een transportchloring wordt toegepast, is het toegestane maximum 100 µg/l.