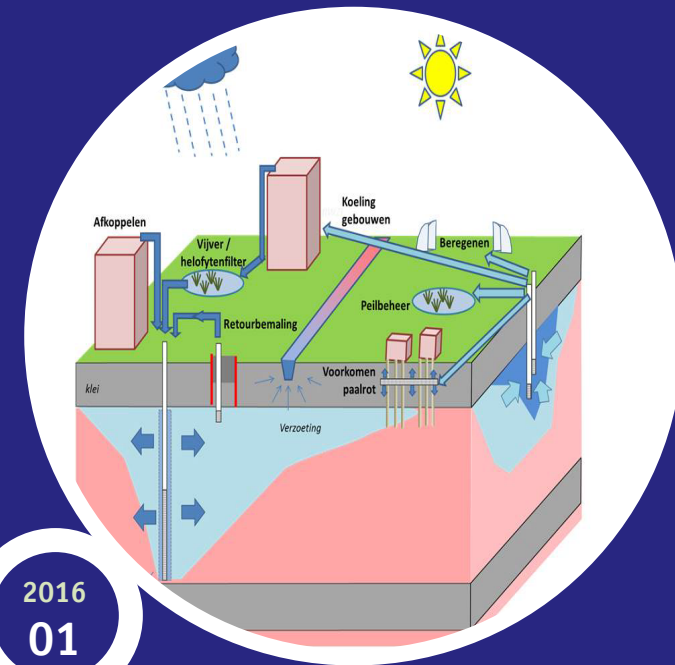


ONDERGRONDS BERGEN EN TERUGWINNEN VAN WATER IN STEDELIJK GEBIED



RAPPORT

2016
01

Een verkenning van de (on)mogelijkheden

ONDERGRONDS BERGEN
EN TERUGWINNEN
VAN WATER IN
STEDELIJK GEBIED

RAPPORT

2016
01

ISBN 978.90.5773.709.1

Uitgave

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort

Telefoon 033 460 3200 / Fax 033 460 3201

www.stowa.nl / stowa@stowa.nl

Copyright

De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

Disclaimer

Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

Het onderzoek is uitgevoerd...

in opdracht van:

STOWA

mede gefinancierd door:

Ministerie van Milieu en Infrastructuur
Stichting Waterbuffer



in samenwerking met:

Carl Paauwe (Stichting Waterbuffer)
Bert Palsma (STOWA)
Christaan Wallet (Ministerie van Milieu en Infrastructuur)

door het onderzoeksteam, bestaande uit:

Marco Hoogvliet (Deltares)
Hans van Meerten (Deltares)
Marcel Paalman (KWR)
Martin van der Schans (KWR)
Roelof Stuurman (Deltares)
Kees Broks (STOWA)



Inventarisatie ervaringen diepinfiltratiesystemen

Voor deze verkenning is informatie gebruikt over bestaande diepinfiltratiesystemen in stedelijk gebied. Deze informatie is verstrekt door de Gemeenten Amersfoort, Rheden, Rijssen-Holten en Sittard-Geleen.

Presentatie en discussie resultaten

De resultaten van deze verkenning zijn gepresenteerd aan, en bediscussieerd met medewerkers van waterschappen, gemeenten, provincies, adviesbureaus en ondernemers.

Dit is gebeurd tijdens:

- het symposium 'Markt voor ondergrondse Zoetwateropslag', door Stichting Waterbuffer georganiseerd op 28 oktober 2014
- op het KNW-voorjaarcongres 'Gedoe in de ondergrond' op 23 april 2015
- en de bijeenkomst 'Ondergrondse opslag van water in de stad', georganiseerd door de werkgroep Stedelijk Grondwater op 21 januari 2016.

Steeds meer en steeds vaker krijgt stedelijk gebied te kampen met twee aspecten van klimaatverandering; wateroverlast en watertekort.

In Nederland wordt veel water in najaar en winter naar de zee afgevoerd, terwijl in voorjaar en zomer aanvoer van water nodig is en watertekorten kunnen optreden. Als er in de zomermaanden hevige neerslag valt, wordt dit snel afgevoerd om wateroverlast te voorkomen. Door klimaatverandering zullen de extremen toenemen, waardoor de kans op wateroverlast én watertekort groter wordt.

Het is daarom voor de hand liggend om na te gaan in hoeverre watertekorten en wateroverschotten met elkaar zijn te verbinden door een vorm van 'actief voorraadbeheer' toe te passen, om de nadelige gevolgen van extremer weer te beperken. De ondergrond kan hiervoor in principe als natuurlijke buffer dienen. In de glastuinbouw en landbouw zijn de laatste jaren diverse (proef)projecten hiermee uitgevoerd met veelbelovende resultaten. Naar aanleiding van dit succes is de vraag ontstaan of ondergrondse waterberging ook perspectieven biedt in stedelijk gebied. Deze verkenning geeft een eerste beeld van de mogelijkheden en beperkingen, met de nadruk op:

- de kansen voor beperking van wateroverlast, met oog voor de grote variaties in ruimte en tijd,
- de bijdrage aan de watervoorziening in stad en ommeland, (peil, doorspoeling, verdamping, hittestress)
- de technische aspecten van ondergrondse waterberging in de stad,
- en de kosten voor aanleg en exploitatie in dicht stedelijk gebied.

De zorg voor een goede grondwaterkwaliteit is hierbij nog een extra overweging.

In dit rapport zijn de mogelijkheden en potentiële knelpunten op een rijtje gezet als een eerste verkenning van de mogelijkheden van een eventueel verder onderzoek en een praktijkproef.

Joost Buntsma, directeur STOWA

SAMENVATTING – AANLEIDING

Verbinden van wateroverschotten en -tekorten door ondergronds voorraadbeheer in de stad

In het najaar en de winter wordt in Nederland veel water naar de zee afgevoerd, terwijl in voorjaar en zomer aanvoer van water nodig is en watertekorten kunnen optreden. Als er in de zomer hevige neerslag valt, wordt ook dit snel afgevoerd om wateroverlast te voorkomen.

Door klimaatverandering zullen de extremen toenemen, waardoor de kans op wateroverlast én watertekort groter wordt. Daarom wordt in toenemende mate bekeken of watertekorten en -overschotten met elkaar zijn te verbinden en een vorm van 'actief voorraadbeheer' toe te passen, om zo de nadelige gevolgen van extremer weer te beperken. De ondergrond kan hiervoor als natuurlijke buffer dienen.

Het principe van ondergrondse waterberging (OWB) is dat (zoet) water in een geschikte watervoerende laag (aquifer) in de diepere ondergrond wordt opgeslagen. Het wateroverschot (in winter en bij hevige neerslag) kan worden teruggewonnen en gebruikt in tijden van watertekort (in zomer).

In de land- en tuinbouw zijn de laatste jaren diverse veelbelovende proeven uitgevoerd met OWB. Naar aanleiding hiervan is de vraag ontstaan of ondergrondse waterberging ook perspectieven biedt in stedelijk gebied. Deze verkenning geeft een beeld van de mogelijkheden, met name: de kansen voor beperking van wateroverlast, de bijdrage aan de watervoorziening in stad en ommeland, de technische aspecten van ondergrondse waterberging in de stad en de kosten voor aanleg en exploitatie.



SAMENVATTING – BEPERKEN VAN WATEROVERLAST

In hoeverre en hoe kan ondergrondse waterberging in de stad bijdragen aan het beperken van de kans op wateroverlast?

Uit deze verkenning blijkt dat ondergrondse waterberging potentie heeft om een significante bijdrage te leveren aan het beperken van de kans op wateroverlast in stedelijk gebied. De te verwachten bijdragen zijn gekwantificeerd via waterbalans berekeningen. Hieruit blijkt dat een rioelstelsel dat is ontworpen op voldoende berging en afvoer voor een neerslaggebeurtenis met een herhalingstijd van 1 x per 2 jaar, gecombineerd met ondergrondse waterberging, een neerslag kan verwerken met een herhalingstijd van 1 x per 10 jaar. Hiervoor moet per hectare stedelijk gebied (waarvan 50% verhard oppervlak) circa 50 m³ afstromend regenwater in de ondergrond worden geïnjecteerd. Dit is mogelijk:

- in het 1^e watervoerend pakket (Kreftenheye) met 20 m dikte;
- met 2 m drukhoogteverschil, er is dan geen pomp nodig;
- via twee verticale putten met een diameter van 0,5 meter;
- en gebruik van een volkomen putfilter (over gehele dikte pakket).

Deze capaciteit, en daarmee het effect hiervan, is op te voeren door:

- injectie onder hogere druk (pompen);
- gebruik van meer putten of een puttenveld;
- tevens infiltreren in het 2^e watervoerend pakket;
- gebruik van horizontale put, zodat een langer filter mogelijk is;
- tijdelijke berging van water in een bassin aan het maaiveld.

De verkende putconcepten zijn schaalbaar in omvang en aantal. Hiermee is de kans op wateroverlast verder te beperken.



In hoeverre en hoe kan ondergrondse waterberging in de stad bijdragen aan de watervoorziening van de stad en ommeland?

Tijdens droge perioden heeft een stad behoefte aan water voor:

- het op peil houden van oppervlaktewater en grondwater;
- voldoende oppervlaktewaterkwaliteit (doorspoeling);
- het handhaven van voldoende bodemvochtgehalte voor het groen;
- het tegengaan van hittestress.

Gerekend in m³ of mm's is het mogelijk om het neerslagtekort van een stad grotendeels te compenseren via het terugwinnen van geïnjecteerd water uit de ondergrond. Mogelijk knelpunt daarbij is de distributie van dit water naar de locaties van gebruik, als hiervoor benodigde infrastructuur ontbreekt. In dat geval is het alleen reëel om de put te plaatsen in de nabijheid van de gebruiksfuncties.

Mogelijke gebruiksfuncties zijn:

- verversen van oppervlaktewater voor handhaving peil en kwaliteit;
- bestrijding van grondwateronderlast;
- watervoorziening op specifieke locaties, zoals sportvelden, tuinbouw of stadslandbouw.

De (huidige) financiële baten van watervoorziening uit ondergrondse waterberging zijn marginaal, vanwege voldoende beschikbaarheid van zoetwater uit andere, goedkopere bronnen. Deze baten zullen vooralsnog geen voldoende basis bieden voor een rendabele business case. Echter, internationaal en naar de toekomst toe (klimaatverandering) liggen hier kansen. In veel (mega)steden in de wereld is de zoetwatervoorziening nu al een belangrijke opgave.

SAMENVATTING – POTENTIES EN KOSTEN

In welke vorm heeft ondergrondse waterberging in de stad potentie, en welke kosten zijn daarmee gemoeid?

Ondergrondse waterberging biedt toegevoegde waarde bij het voorkomen van wateroverlast op locaties:

- met een hoge verstedelijkingsgraad;
- met weinig ruimte aan het maaiveld voor waterbeheersmaatregelen;
- met weinig berging in freatisch grondwater of oppervlaktewater;
- waar constructies voor waterberging duur of complex zijn;
- waar aanleg is mee te nemen in een regenwater-afkoppeltraject.

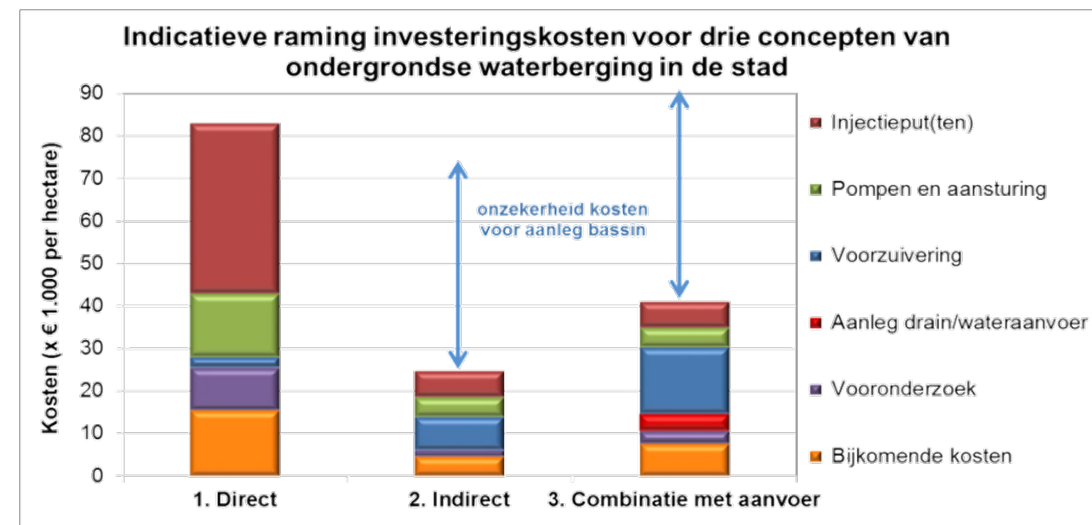
Voor de inzameling van water gaat de voorkeur uit naar:

- locaties met een groot dakoppervlak, een bestaand regenwaterafvoersysteem of een waterpartij waarop het regenwater afvoert;
- locaties waar enige vorm van waterbuffering mogelijk is.

Voorzuivering van het te infiltreren water is essentieel om putverstopping te voorkomen en de grondwaterkwaliteit te beschermen. De investeringskosten zijn afhankelijk van het OWB-concept. Zie afbeelding rechts (exclusief eventuele kosten voor afkoppelen). Vanuit kostenoptiek is het in dichtbebouwde gebieden aantrekkelijk om ondergrondse waterberging mee te nemen in de keuze van waterbeheersmaatregelen. Andere maatregelen in dergelijke gebieden, zoals het vergroten van de afvoercapaciteit van het riool en herinrichting van het maaiveld, zijn ten minste zo duur.

Zorg om de grondwaterkwaliteit

Zorg om de grondwaterkwaliteit was voor de Technische Commissie Bodem (TCB) de reden om in 2009 negatief te [adviseren aan VROM](#) over diepinfiltratie van afvloeiend regenwater. De afweging voor diepinfiltratie moet volgens de TCB gebiedsgericht worden gemaakt, waarbij alternatieve opties grondig zijn verkend, incl. lokale mogelijkheden voor het vergroten van de natuurlijke infiltratie en brongerichte maatregelen voor de kwantiteit en kwaliteit van afstromend regenwater. Diepinfiltratie zou bij voorkeur nog een ander nuttig doel moeten dienen. In dat geval achtte de TCB diepinfiltratie van afvloeiend regenwater aanvaardbaar. De 'technisch-juridische handreiking risicobeoordeling voor ondergrondse waterberging' biedt hiervoor een praktisch afwegingskader ([STOWA publicatie 2015-35](#)).



NAVIGATIE MENU

Via dit navigatie menu kunt u snel naar ieder gewenst onderwerp van de rapportage doorklikken.

Inhoud	blz.		
- Colofon	3	- Putdiameter, putlengte en putsysteem	28
- Ten geleide	4	- Maatgevende capaciteit putten	29
Samenvatting		- Rendement terugwinning	30
- Aanleiding	5	- Omgevingseffecten	32
- Beperken van wateroverlast	6	Uitgangspunten voor de analyse	
- Watervoorziening in de stad	7	- Stedelijk gebied, neerslag	33
- Potenties en kosten	8	- Regenwateroverlast	34
- Navigatie menu	9	- Watertekort	35
Inleiding		- Kwaliteit wateraanbod	36
- Verbinden overschotten en tekorten	10	- Te verkennen concepten	38
- Verantwoordelijkheden	11	- Kenmerken van de concepten	39
- Doel en uitgangspunten onderzoek	12	Kosten	
Werkingsprincipe en begrippen		- Indicatieve kostenraming, uitgangspunten	40
- Werkingsprincipe en begrippen	13	- Indicatieve kostenraming aanleg	41
Praktijkervaringen		- Indicatieve kostenraming exploitatie	42
- Voor de drinkwaterwinning	15	- Vergelijking kosten andere maatregelen	43
- In de glastuinbouw	16	Baten	
- Diepinfiltratie regenwater	18	- Voordelen van extra waterberging	44
Technische aspecten		- Afvoer van neerslag	45
- Kwaliteitseisen aan injectiewater	19	- Vermindering water op straat	46
- Keuze waterbron	20	- Extra bron (zoet)watervoorziening	47
- Voorzuivering injectiewater	21	- Waterbalans door het jaar heen	48
- Putmanagement	23	Conclusies en aanbevelingen	
- Injectiecapaciteit van putten	24	- Conclusies	49
- Toelaatbare stroomsnelheid	25	- Aanbevelingen	52
- Toelaatbare waterdruk	26		
- Doorlatendheid watervoerend pakket	27		

Opzet rapportage

De rapportage is zo opgezet dat deze digitaal goed is te lezen op PC of tablet, met bijvoorbeeld Adobe Acrobat Reader voor iOS of Android.

De achterliggende documenten en artikelen (op de Hydrotheek) en websites zijn gemakkelijk via hyperlinks te openen. U kunt ook snel naar andere delen van de rapportage gaan.

Met de toetsten rechtsonder kunt:

naar de vorige bladzijde terugkeren

de voorgaande bladzijde terugslaan

de volgende bladzijde omslaan

via het navigatie menu naar elk onderwerp in de rapportage gaan.

In dit rapport gebruiken we de afkorting OWB voor ondergrondse waterberging.

Verbinden van wateroverschotten en -tekorten door ondergronds voorraadbeheer

In Nederland wordt in najaar en winter veel water naar de zee afgevoerd (overschot), terwijl in voorjaar en zomer vaak juist aanvoer van water nodig is (tekort). Als er in de zomermaanden hevige neerslag valt, wordt dit bovendien snel afgevoerd om wateroverlast te voorkomen. Door klimaatverandering wordt de kans op wateroverlast én watertekort nog veel groter. Daarom wordt in toenemende mate bekeken of je watertekorten en wateroverschotten met elkaar kunt verbinden en een vorm van 'actief voorraadbeheer' toe kunt passen, om zo de nadelige gevolgen van extremere weersomstandigheden te beperken. Decentrale maatregelen kunnen bijdragen aan meer zelfvoorzienendheid en het toekomstbestendig maken van de zoetwatervoorziening. Dit krijgt ook aandacht binnen het Deltaprogramma.

Ondergrondse waterberging in de stad

De ondergrond kan als een natuurlijke buffer dienen bij het tijdelijk bergen van water. Wateroverschotten in met name najaar en winter worden geborgen in de ondergrond. Bij watertekort kunnen deze overschotten worden teruggewonnen en benut. Echter, de stedelijke ondergrond is door vergerende verharding en verdichting steeds meer uitgesloten van de stedelijke waterkringloop. Daarnaast lijkt het benutten van de stedelijke ondergrond voor nieuwe (klimaat)opgaven gemeden te worden vanwege potentiële problemen en aansprakelijkheden die een actiever grondwaterbeheer met zich mee kan brengen. Bodem- en ondergrond zijn echter wel onderwerpen die expliciet in het [Manifest Klimaatbestendige Stad](#) worden genoemd.



INLEIDING – VERANTWOORDELIJKHEDEN

Verantwoordelijkheden voor regen- en grondwater

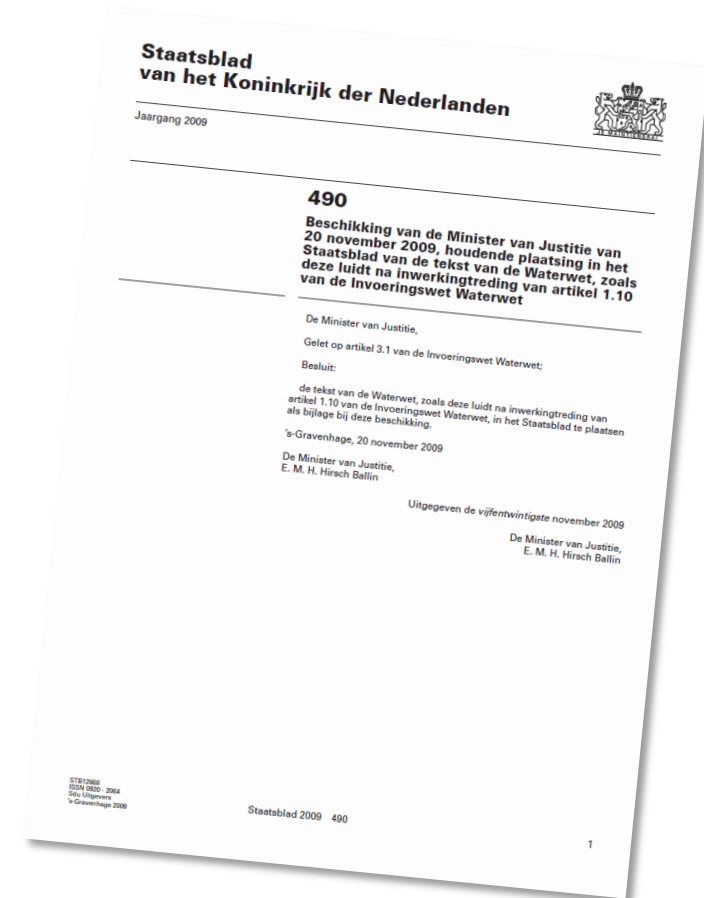
Met de invoering van de Waterwet zijn de taken voor waterschappen en gemeenten opnieuw vastgelegd, waaronder de verantwoordelijkheden voor regen- en grondwater.

Gemeenten hebben de zorgplicht voor de verwerking van 'overtollig' regenwater en grondwater. Ook particulieren spelen hierin een rol.

Waterschappen beheren het oppervlakte- en grondwater en zijn o.a. bevoegd gezag voor de infiltratie van water in de bodem en voor (ondiepe) grondwateronttrekkingen (m.u.v. drinkwaterwinningen, grote industriële onttrekkingen en onttrekkingen voor bodemenergie). Dit vergemakkelijkt een integrale benadering van het beheer van grondwater en oppervlaktewater.

Het grondwaterkwaliteitsbeheer kan bij provincie, grotere gemeenten, waterschap of Rijkswaterstaat liggen, afhankelijk of het bodem onder land, regionaal water of Rijkswater betreft.

Specifiek voor het bufferen van (zoet) water in de ondergrond zijn in het kader van het Deltadeelprogramma Zoetwater voor vijf zoetwatertechnieken de juridische aspecten in kaart gebracht ([De Putter, 2014](#)).



Verkenning van mogelijkheden en potentie

De vraag is in hoeverre de ondergrond van de stad een bijdrage kan leveren aan het voorkomen van wateroverlast, aan instandhouding van het gewenste oppervlaktewater- en grondwaterpeil en aan de zoetwatervoorziening voor nuttig gebruik in stad en ommeland.

Doel en onderzoeksvragen

Doel van deze verkenning is te verduidelijken of ondergrondse waterberging in de stad en mogelijke terugwinning potentie heeft als maatregel om wateroverlast en watertekorten in de stad te beperken.

De onderzoeksvragen zijn:

- In welke mate kan ondergrondse waterberging in de stad een bijdrage leveren aan het beperken van de kans op wateroverlast bij piekbuien?
- In welke mate kan ondergrondse waterberging een bijdrage leveren aan de watervoorziening van de stad?
- In welke vorm heeft ondergrondse waterberging potentie en welke kosten zijn daarmee gemoeid?

Als de uitkomsten van de verkenning wijzen op potentie, wordt beoogd om in een vervolg één of meerdere pilots te definiëren en deze als voorbeeldprojecten in de praktijk te brengen.

Uitgangspunten

Deze verkenning richt zich op:

- het deel van laag Nederland waar brak/zout grondwater voorkomt, omdat risico's voor de waterkwaliteit hier kleiner zijn dan bij zoet grondwater;
- berging in spanningswater van het eerste watervoerend pakket, direct onder de Holocene Deklaag, in Laag Nederland meestal de '[Formatie van Kreftenheye](#)';
- berging van water in het freatische pakket en diepinfiltratie (op dieptes tussen ca. 50 en 100 m) blijven buiten beschouwing;
- Voor de uitgevoerde berekeningen is gebruik gemaakt van gangbare normen en kengetallen, deze kunnen in een specifieke situatie afwijken.

WERKINGSPRINCIPE EN BEGRIPPEN

Algemeen werkingsprincipe

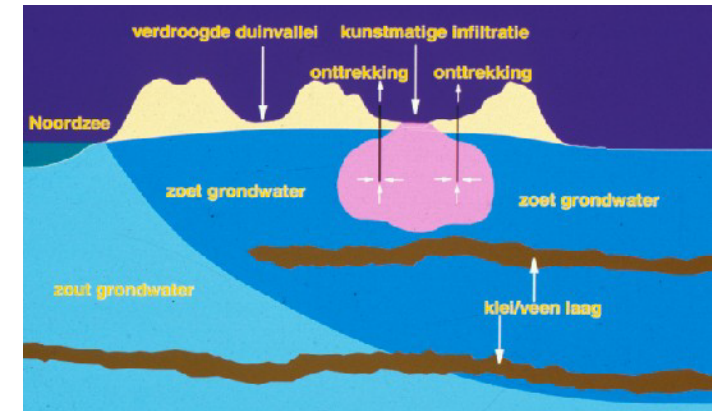
Het principe van ondergrondse waterberging is dat (zoet) water in een geschikte watervoerende laag (aquifer) in de diepere ondergrond wordt opgeslagen. Het water kan eventueel weer worden teruggewonnen. Hierdoor kan water uit tijden van overschot (winter en hevige neerslag) worden gebruikt in tijden van watertekort (zomer). Er zijn drie typen OWB-systemen te onderscheiden:

Open infiltratie systemen: Met open infiltratie wordt water via infiltratiesloten in de ondergrond gebracht en via een put elders teruggewonnen. Dit is vanaf medio jaren '50 op grote schaal in de Nederlandse kustduinen toegepast.

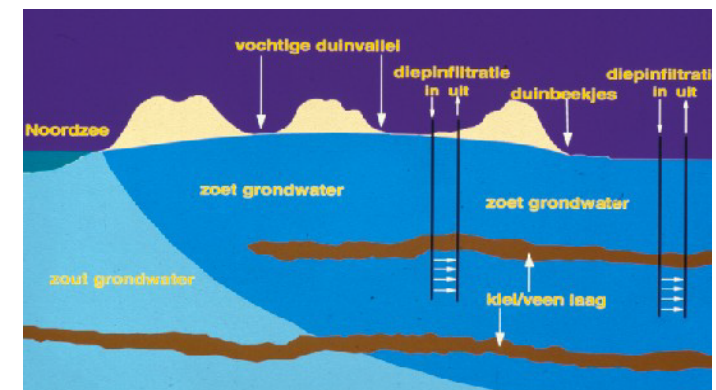
Diep-infiltratie systemen: Vanaf de jaren '90 is er ervaring opgedaan met diepinfiltratie in de kustduinen. Hierbij wordt het water via een put diep in de ondergrond gebracht en via een andere put elders teruggewonnen ('Aquifer Storage, Transfer and Recovery', ASTR). Beide systemen zijn continu lopend: water infiltreert en wordt op enige afstand, tegelijkertijd onttrokken. Bij diepinfiltratie van regenwater wordt dit veelal niet teruggewonnen.

'Aquifer Storage and Recovery' (ASR): Anders dan bij open infiltratie en diep-infiltratie, wordt bij ASR voor infiltratie en terugwinning van water één en dezelfde put gebruikt. Dit kan dus niet tegelijkertijd. Op Texel was van 1977 tot 1991 de eerste ASR-put in Nederland in gebruik, voor opslag van gedestilleerd zeewater, maar dit bleek veel te duur. Sindsdien is ASR in Nederland weinig ontwikkeld, waar dit elders in de wereld, vooral in de VS en de Arabische wereld een grote vlucht nam. Daar ligt de behoefte ook anders.

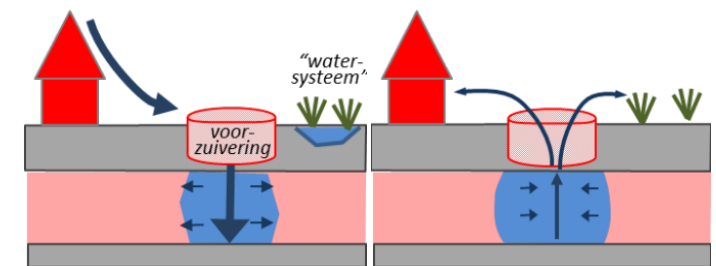
Bron: Waterforum.nl, interview Pieter Stuyfzand



Open infiltratie (www.natuurinformatie.nl)



Diepinfiltratie (www.natuurinformatie.nl)



'Aquifer Storage and Recovery'

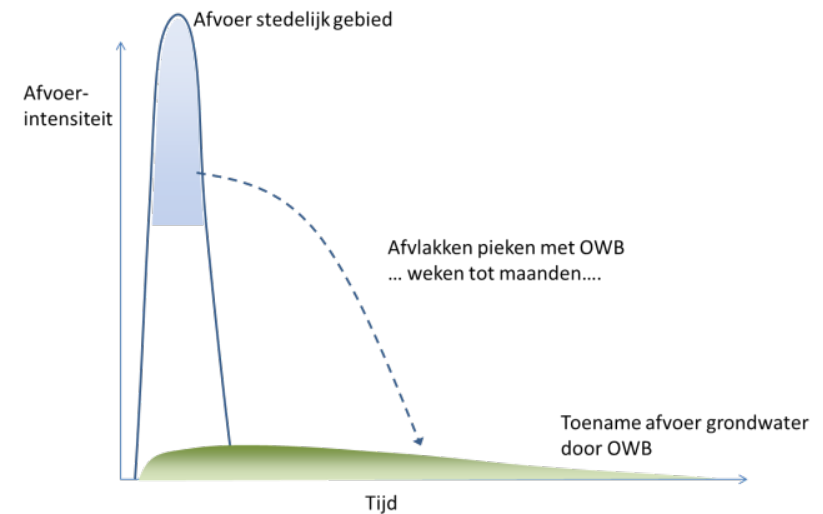
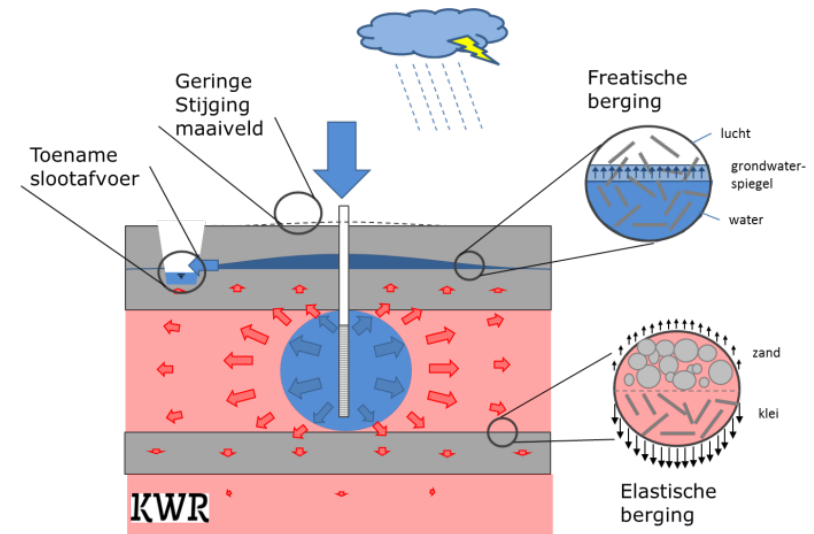
WERKINGSPRINCIPE EN BEGRIPPEN

Effecten in laag Nederland met brak grondwater

De injectie van wateroverschot onder druk in de ondergrond zorgt voor drukverhoging rondom de put.

Waar de ondergrond alleen uit zand bestaat, treedt een 'waterbedeffect' op: het zoute water wordt aan de bovenkant van het grondwater verdrongen. Mogelijke effect is een snelle toename van de slootafvoer in het gebied en dus netto weinig effect op wateroverlast. Daarnaast kunnen de grondwaterstanden stijgen waardoor het water in de freatische zone wordt geborgen. Dit kan in laag Nederland kans geven op grondwateroverlast.

Echter, in grote delen van laag Nederland liggen klei- en veenlagen onder maaiveld die weerstand bieden tegen verticale grondwaterstroming. Tijdens de diepinfiltratie of ASR ontstaat een overdruk in het watervoerend pakket waarin wordt geïnfiltrerd. Door toename van de waterdruk rondom de putten zet het zandskelet een klein beetje uit. In de extra ruimte die hierdoor tussen de korrels ontstaat, vindt een beperkte hoeveelheid waterberging plaats (elastische berging). Dit proces van elastische berging is eigenlijk omgekeerd aan zetting. De overdruk wordt vervolgens langzaam verminderd doordat het water vertraagd afvoert naar het oppervlaktewater. Dit principe zorgt voor tijdwinst; de afvoerpiek van overtollig regenwater wordt sterk vertraagd, tot wel enkele maanden.



Schematisch overzicht van mogelijke effecten van ondergrondse waterberging op wateroverlast

In Nederland wordt ondergrondse waterberging al meer dan 40 jaar toegepast. Hieronder beschrijven we de ervaringen en lessen voor ondergrondse waterberging in stedelijk gebied.

ASR voor de drinkwatervoorziening

Sinds de jaren '30 zijn vele systemen voor ondergrondse waterberging beproefd. Aanvankelijk zonder succes vanwege ernstige verstopping van de infiltratieputten. Met de ontwikkeling van betere technieken om water voor te zuiveren en remedies om putverstopping te verhelpen, hebben enkele drinkwaterbedrijven in de jaren '70 AS(T)R (*T=transfer*) opgenomen in hun reguliere productieproces.

De meeste systemen bestaan uit een puttenveld met aparte infiltratie- en terugwinputten. Voordelen hiervan zijn de mogelijke continue levering en de chemische- en/of microbiële kwaliteitsverbetering door de bodempassage. Met deze grote systemen zijn terugwinrendementen tot 90% haalbaar, ook in zoute/brakke aquifers. Experimenten met één put voor onttrekken en injecteren kampten met voor drinkwatertoepassing ongewenste kwaliteitsveranderingen in de reactieve doelaquifers (Stuyfzand et al 2012*, niet openbaar). Dergelijke kwaliteitsveranderingen hoeven geen belemmering te zijn voor andere gebruiksdoeleinden.

* *Stuyfzand, P.J., P. Nienhuis, A. Antoniou, K. Zuurbier, 2012, Haalbaarheid van ondergrondse waterberging in Hollands Kustduinen. KWR 2012.082*

Geschiktheid van de ondergrond in Nederland

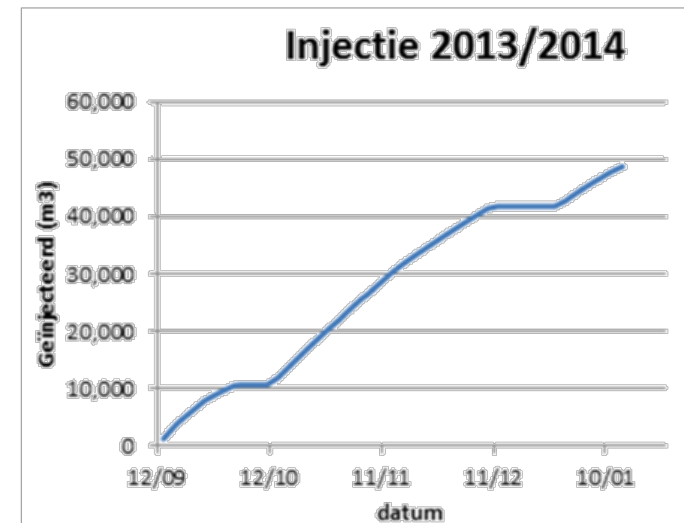
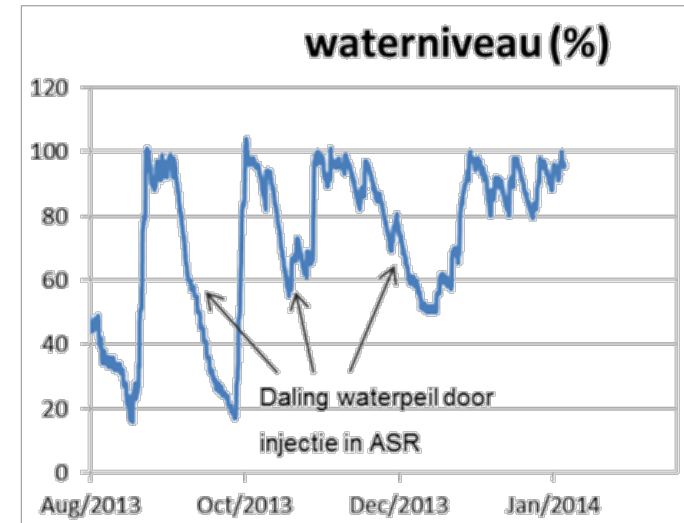
Uit onderzoek ([STOWA-publicatie nr.43, 2014](#)) blijkt de ondergrond in grote delen van Nederland geschikt voor het snel injecteren van neerslagoverschotten. De mogelijkheden om het water weer terug te winnen varieert sterk per locatie en is afhankelijk van de technische uitvoering.

ASR in de glastuinbouw

De glastuinbouw stelt hoge eisen aan de gietwaterkwaliteit, m.n. wat betreft de concentraties natrium. Neerslag is hiervoor het meest geschikt. De neerslag wordt veelal opgeslagen in bovengrondse gietwaterbassins. Na mechanische voorzuivering over een zandfilter wordt dit in de ondergrond opgeslagen. Het voordeel hiervan is dat er meer ruimte beschikbaar is in het bassin voor neerslag en dat de tuinder met een kleiner bassin toe kan (tot minimaal vereiste berging volgens Activiteitenbesluit), zodat er meer ruimte is voor glas ([Van der Schans & Paalman, 2014](#)). ASR wordt onder meer toegepast in de regio's Westland, Oostland, Wieringermeer en Agriport A7.

De dynamische inzet van gietwaterbassins kan bijdragen aan het voorkomen van wateroverlast. Op basis van neerslagvoorspellingen wordt tijdig water uit de bassins afgelaten, zodat er ruimte is voor de opvang van neerslag in de bassins. Het Hoogheemraadschap van Delfland voert hier samen met tien glastuinders een [pilot](#) voor uit.

Door de dynamische inzet van bassins te combineren met ondergrondse waterberging, is het mogelijk het afgelaten water in de ondergrond op te slaan, zodat dit (deels) is terug te winnen en te benutten. Zie de afbeeldingen van pilot glastuinbedrijf Prominent, Westland. Het waterniveau tussen de buien is verlaagd (boven) door water vanuit het bassin in de ondergrond te injecteren (onder), ([Van der Schans & Paalman, 2014](#)).



Op pilotlocatie in het Westland is waterniveau in bassins na elke bui verlaagd, zodat ruimte ontstaat voor opvang van de volgende bui

ASR in de glastuinbouw (vervolg)

Pilots die zich richten op 'zoet-in-zoutberging', zijn veelbelovend. Dergelijke decentrale maatregelen dragen bij aan meer zelfvoorzienendheid en een toekomst-bestendige zoetwatervoorziening.

Zoet-in-zoutberging is echter relatief nieuw en vraagt technische aanpassingen aan infiltratie- en terugwinsystemen. Door ontwikkeling van zogenoemde multi-put infiltratiesystemen kan het terugwinrendement van zoet water aanmerkelijk worden verbeterd ([Zuurbier et al., 2012](#) en [Zuurbier et al., 2014](#)).

Naast de gebruikelijke waterkwaliteitsaspecten met het oog op putverstopping, zijn de aandachtspunten:

- mogelijke interferentie met ander gebruik van de ondergrond, zoals WKO-systemen;
- het risico op injectie van milieuvreemde stoffen in de bodem en hoe hier mee om te gaan (monitoring).

Deze aandachtspunten kunnen leiden tot discussies met vergunningverleners, handhaving en andere gebruikers van de ondergrond. De 'technisch-juridische handreiking risicobeoordeling voor ondergrondse waterberging' biedt hiervoor een praktisch afwegingskader ([STOWA publicatie nr.35, 2015](#)).



Aanleg ASR systeem bij glastuinbouwbedrijf te Bleiswijk in de periode 1970-1980 ([Zuurbier et al., 2012](#))

PRAKTIJKERVARINGEN – DIEPINFILTRATIE REGENWATER

Diepinfiltratie van afstromend regenwater in Hoog Nederland

Een aantal gemeenten in de hogere delen van Nederland heeft de afgelopen jaren ervaring opgedaan met diepinfiltratie. Deze toepassing is vooral gericht op het beperken van wateroverlast door afstromend regenwater diep te infiltreren. Het water wordt in de regel niet teruggewonnen voor nuttige toepassing.

Voor dit onderzoek zijn de ervaringen van vier gemeenten met diepinfiltratie geïnventariseerd. De hoofdkenmerken staan in de tabel hiernaast. De meeste systemen functioneren inmiddels naar wens en (vermoedelijk) met voldoende capaciteit (geen adequate monitoring). Gemeenten ervaren vooral problemen met:

- verstopping bladroosters weggolken en interne overstortroosters;
- zand- en slibophoping in regenwaterleidingen naar de put;
- afname injectiecapaciteit door luchtinsluiting in infiltratieput;
- ernstige putverstopping door vervuilde afstroming via bypass.

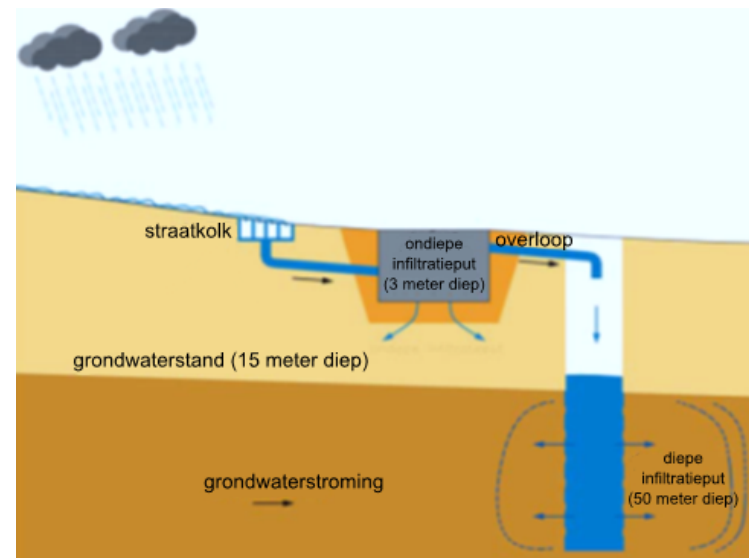
Na oplevering zijn diverse verbeteringen gedaan, zoals eigen gefabriceerde bladroosters, aanpassing bypasses, plaatsing voorzieningen om luchtballen uit het injectiewater te halen en frequenter onderhoud en inspectie. Gemiddeld is deze rond 4x/jaar voor het IT-systeem en 1x/jaar voor de putten.

In de meeste gevallen wordt de kwaliteit van het injectiewater niet of nauwelijks gemonitord, waar dit door de Technische Commissie Bodem (TCB, 2009) wel wordt aanbevolen. Zo is bij een proefinjectie in Rijssen-Holten maar één meting uitgevoerd naar de kwaliteit.

ontwerp en aanleg	Amersfoort	Rheden	Rijssen-Holten	Sittard-Geleen
aanlegjaar	2009	2006	2006-2006	2002
afgekoppeld oppervlak (ha)	10,7 ha	3,4 ha	1,35 ha	4,5 ha
herkomst hemelwater	woningdaken wegen	woningdaken wegen	woningdaken wegen	(deels) verharde weg, akker
voorzuiivering	afvang vervuilde afstroming via IT **	blad- & zandvang bij weggolk, afvang eerste 4 mm afstroming via IT **	bladvang, afvang eerste 20 mm afstroming met ondiepe infiltratieput	afvang eerste 45 mm afstroming met greppel en buffervijver
aantal putten	2	3	1 (+ 3 ondiepe)	3
einddiepte put	≈100 m-mv	120 m-mv	60 m-mv	19 m-mv
totale capaciteit putten	840 m ³ /uur	1800 m ³ /uur	500 m ³ /uur	onbekend

** deel van vervuilde afstroming komt alsnog in putten door aanlegwijze.

Kenmerken van bestaande diepinfiltratiesystemen in stedelijk gebied, onderzocht in het kader van dit vigerende onderzoek (bron: persoonlijke mededeling, zie lijst informanten)



Overzicht van diepinfiltratiesysteem in Rijssen waarbij eerste 20 mm afstromend regenwater via ondiepe infiltratieputten wordt afgevangen (bron: Gemeente Rijssen-Holten, 2005)

Waterkwaliteitseisen en putverstopping

Diepinfiltratie stelt om meerdere redenen minimale eisen aan de kwaliteit van het injectiewater:

- Voorkomen grondwaterverontreiniging: Bij diepinfiltratie passeert het water de natuurlijke barrièrelagen in de bodem. Om verontreiniging van grondwater te voorkomen, mag het te infiltreren water niet of nauwelijks milieuvreemde stoffen bevatten.
- Voorkomen van verspreiding ziektekiemen: Dit kan een rol spelen als water wordt teruggewonnen, bijvoorbeeld voor beregening, bevloeiing, gietwater of veedrenking. Dit speelt geen rol bij voldoende verblijftijd (30 dagen) in de bodem.
- Voorkomen van putverstopping: Verstopping van de putwand manifesteert zich in vermindering van de injectiecapaciteit. De meest voorkomende verstoppingsoorzaken zijn zwevende deeltjes, bacterieontwikkeling en biofouling in en rond de put. Injectiewater moet daarom zo min mogelijk zwevende bestanddelen en nutriënten (assimilable organic carbon, stikstof en fosfor) bevatten die bacteriegroei bevorderen. Ook hogere watertemperaturen versnellen de bacteriegroei.

De volgende vier bladzijden beschrijven een aantal maatregelen om het risico op milieuverontreinigingen en putverstopping te beperken.

** Stuyfzand, P.J., P. Nienhuis, A. Antoniou, K. Zuurbier, 2012, Haalbaarheid van ondergrondse waterberging in Hollands Kustduinen. KWR 2012.082*

Voor infiltratiewater zijn kwaliteitsrichtlijnen opgesteld (Stuyfzand et al 2012*, niet openbaar). Uit het oogpunt van putverstopping kan bij tijdelijke injectie worden volstaan met minder goede waterkwaliteit, omdat minder water en daarmee minder verontreiniging worden aangevoerd en verstoppende deeltjes door stopzetting of omkering van stromingsrichting weer kunnen loskomen.

Algemene kwaliteitsnormen

- [Infiltratiebesluit bodembescherming](#), bijlage 1 en 2. Dit is uitsluitend van toepassing op infiltratie van water afkomstig uit oppervlaktewater. 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](#))
- [Drinkwaterbesluit](#), hoofdstuk 3

Voorkomen van putverstopping

- zwevend stof <0,1 mg/l
- troebelingsgraad <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

Praktijktesten moeten nog uitwijzen welke combinaties voldoen onder de condities in laag Nederland. In hoog Nederland wordt vooral gebruik gemaakt van gescheiden afvoeren van de eerste afstroming in combinatie met bezinking.

TECHNISCHE ASPECTEN – KEUZE WATERBRON

Beschikbare bronnen in stedelijk gebied

Onderstaande waterbronnen zijn ruimschoots aanwezig. De verontreiniging van het water van deze bronnen verschilt in type en hoeveelheid.

- Afstromend regenwater van daken, wegen en regenwaterriolering: Aandachtspunt zijn de benodigde leidingen voor inzameling van regenwater van daken en wegen en transport naar de injectieput. Via bestaande (verbeterd) gescheiden regenwaterstelsels is dit eenvoudig naar de injectieput af te voeren, waarbij wel moet worden gelet op vervuiling door foutieve vuilwater aansluitingen. Bij grote dakoppervlakken kan regenwater direct naar een lokale injectieput worden afgevoerd.
- Oppervlaktewater: Aandachtspunt is de waterkwaliteit bij het innamepunt (denk aan riooloverstorten). Als er hydraulische knelpunten zijn, kan het innamepunt stroomopwaarts hiervan worden gekozen.
- Drainagewater: Dit watertype heeft een zuiveringstrap nodig voor infiltratie (ijzerhydroxide etc.).
- Vuilwater: Hierbij moet met name worden gedacht aan overstortwater van gemengde riolering tijdens hevige neerslag.
- Gezuiverd effluent: Hier is extra voorzuivering nodig om organische microverontreinigingen te verwijderen. Omdat de meeste RWZI's het effluent buiten het stedelijk gebied lozen, is effluent verder niet als mogelijke waterbron meegenomen.

Vuillast en benodigde voorzuivering

Onderstaande tabel geeft de relatie aan tussen waterbron, vuillast (type en hoeveelheid) en benodigde zuiveringsinspanning.

Het heeft de voorkeur om gebruik te maken van een bron met zo schoon mogelijk water. Vuilwater kent een veel hogere vuillast.

Bron	Vuillast	Zuiveringsinspanning
Afgekoppeld Hemelwater		
- glastuinbouw	Zw	
- daken	Zw+NP	
- wegen	Zw+NP+Met+WZ	
Grondwater		
Oppervlaktewater	Zw+NP+Met+OMIVE	
Vuilwater (gemengde riolering)	Zw+NP+Met+OMIVE + WZ	

Beperkt (fijn filter)
↑
matig
↓
Uitgebreid (RO)

Zw = Zwevende stof, NP = Nutriënten, Met = Metalen, WZ = Wegenzout, OMIVE = Organische Microverontreinigingen

De in voorgaande sheet besproken kwaliteitseisen aan het injectiewater bepalen welke bronnen geschikt zijn en welke voorzuivering daarbij nodig is.

Beperkte ruimte voor voorzuivering

De grootste uitdaging in stedelijk gebied ligt in het vinden van oplossingen voor voorzuivering die passen binnen de vaak beperkt beschikbare ruimte.

Bypass / afvoer van meest vervuilde deel regenwaterafvoer

Vaak wordt verondersteld dat afstromend regenwater aan het begin van de bui meer verontreinigingen en verstoppende deeltjes bevat en later minder vervuilde is. De goedkoopste 'voorzuivering' is dit regenwater te bypassen. In de praktijk betekent dit echter niet altijd dat hiermee het meest vervuilde regenwater wordt afgevangen. De verontreinigingsgraad van afstromend regenwater is namelijk o.a. afhankelijk van de periode voor de neerslag. Na een droge periode kan het eerste afstromende regenwater veel meer zwevende stof bevatten dan dezelfde bui na een natte periode. Daarnaast is er een ruimtelijke component. Zeker voor grotere gebieden is lastig onderscheid te maken in een eerste afstroming door verschillen in reistijd tot het innamepunt. Tot slot kunnen foutieve aansluitingen van vuilwater op regenwaterstelsels er voor zorgen dat het afstromend regenwater niet alleen door vervuild oppervlak is vervuild.

Een verbeterd gescheiden stelsel voert een groot deel van het (meest vervuilde) regenwater naar de RWZI (in principe ook een bypass van het meest vervuilde water). Nadeel is dat hierdoor minder water beschikbaar is voor injectie.

Inzameling grondwater onder watergang

Met een drain onder een watergang is grondwater in te zamelen. Hierbij kunnen zich twee situaties voordoen:

- De drain onder de waterloop vangt voornamelijk (zoet) kwelwater af, dat weer wordt geïnjecteerd. Dit kwelwater zou anders door het oppervlak zijn afgevoerd.
- De drain vangt geïnfiltrerd oppervlaktewater op, dat wordt gedraineerd, en geïnjecteerd in de ondergrond.

Situatie 2 werkt het beste. Door de bodempassage vindt voorzuivering van het oppervlaktewater plaats. De sliblaag speelt hierin ook een belangrijke rol.

Situatie 2 is in onderstaande afbeelding verbeeld.

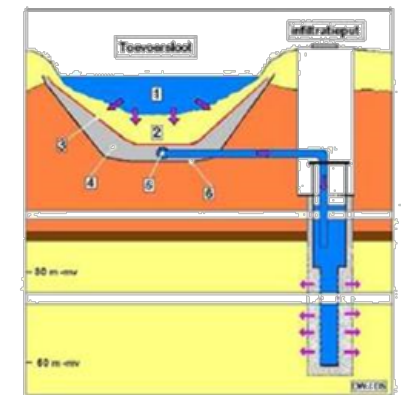
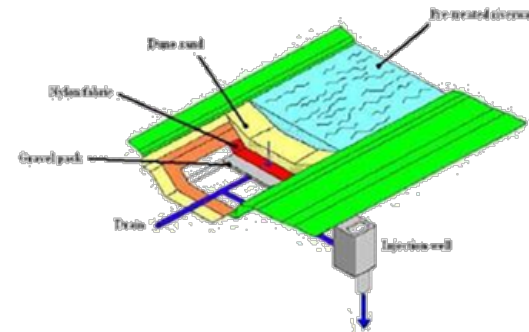


FIG. 2.20. Draincollector constructie in de zogenaamde toevoersloot van Waternet, waarmee de 4 ATR-putten op locatie C in de periode 1994-2000 7 Mm³ voorgezuiverd Rijnwater infiltreerden. Naar Van Duijvenbode & Olsthoorn (2002). 6 = impermeabel plastic folie ter preventie van de instroom van ijzerrijk grondwater.

Conventionele voorzuiveringsmethoden

Zuivering met conventionele methoden zoals langzame zandfilters, neemt veel ruimte in beslag. Ter indicatie: het voorzuiveren van een aanvoer vanaf 1 hectare met 10 mm/uur vergt 330 m² langzame zandfilters (bij 1 m zandbeddikte en filtersnelheid van 0,3 m/uur). Dit type zuivering is minder geschikt (groot en duur) bij hoge infiltratiecapaciteit (zonder buffer, [concept 1](#)).

Dit type zuivering is wel geschikt als de benodigde capaciteit wordt gereduceerd door tijdelijke opslag van het water in een bassin ([concept 2](#)) of bij aanvullende waterbronnen ([concept 3](#)).

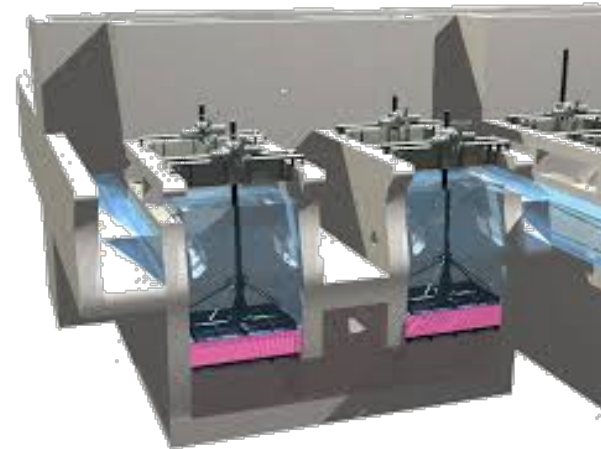
Een helofytenfilter, bijvoorbeeld inpasbaar in een park, vangt zwevende stof in en legt nutriënten in het slibrijke/organische bodemmilieu vast. Deze sliblaag speelt ook in infiltratievijvers in de duinen een belangrijke rol bij waterzuivering.

Snellere, meer compacte zuiveringsmethoden

De laatste jaren zijn diverse snellere zuiveringsmethoden met relatief lage kosten op de markt gekomen.

Een voorbeeld is het Fuzzy Filter met een filtermedium dat poreus en samendrukbaar is. Hierdoor is een hoge filtersnelheid en -capaciteit te bereiken (fabrieksopgave 18 tot 380 m³/uur). Na verloop van tijd zal het filtersysteem vollopen met deeltjes en de capaciteit afnemen.

Door het filtermedium minder samen te drukken, kan weer meer water worden doorgelaten. Opgemerkt wordt dat dit nieuwe product niet eerder als voorzuivering voor injectiewater in de ondergrond is toegepast. De werking ervan wordt nu beproefd.



Het fuzzy filter bestaan uit samendrukbare bolletjes die veel water in korte tijd kan zuiveren

Voorkomen verstopping door aangepast gebruik van putten

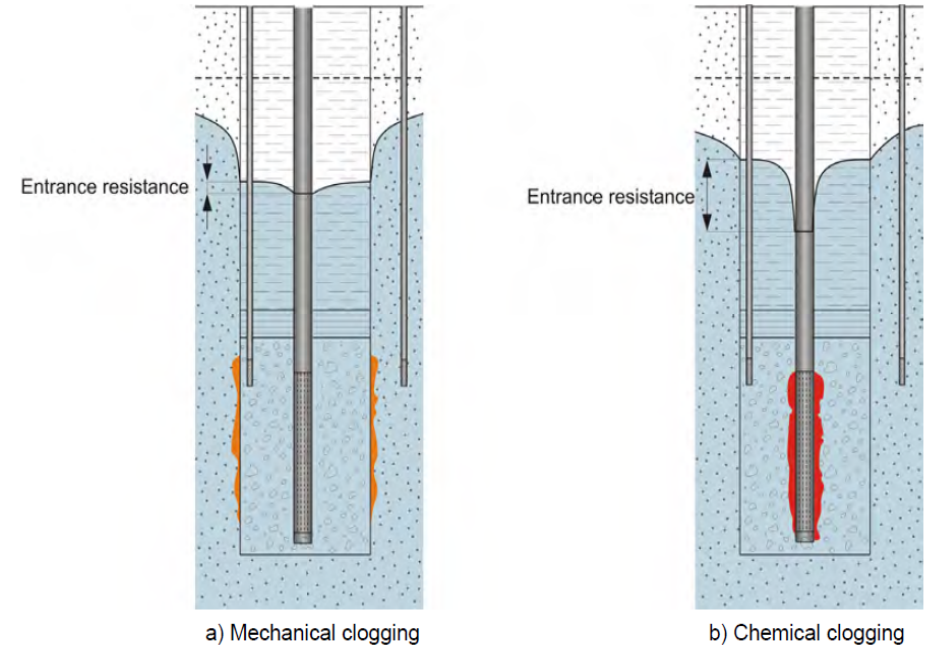
Door het gebruik van de putten aan te passen, is de kans op putverstopping te verminderen of is het mogelijk te volstaan met minder vergaande zuivering van het injectiewater.

Dit kan door bijvoorbeeld discontinue injectie of kortstondig oppompen (omkeren stromingsrichting):

- Soms is het effectief om na een injectieperiode, een put 'met rust' te laten. Hierdoor krijgen micro-organismen geen voedingsstoffen meer aangevoerd en breken af. Dit kan lang duren omdat afbraakproducten weer een voedingsbron vormen voor soortgenoten.
- Met meerdere injectieputten kunnen deze afwisselend worden gebruikt (alleen bij heel hevige neerslag treden alle putten in werking).
- Het incidenteel omkeren van de stromingsrichting zorgt dat deeltjes weer loslaten.

Als de injectiecapaciteit afneemt door putverstopping, kan de put ook worden schoon gepompt of zo nodig worden geregenereerd. Tips en trucs voor ontwerp en toepassing van schakelschema's voor mechanisch verstopte putten zijn te vinden in [Raaijmakers et al., 2009](#).

Om chemische verstopping te voorkomen is het in het algemeen van belang gelijkmatig en stabiel te onttrekken en tijdig te regenereren.



Er worden 2 typen putverstoppingen onderscheiden: mechanische verstopping van de put en chemische verstopping van het filter (De Zwart, 2007)

De ervaringen met genoemde oplossingen om putverstopping te voorkomen, zijn wisselend. De condities bij de injectie van regenwater in stedelijk gebied zijn afwijkend, dus daar kan de effectiviteit van deze of andere oplossingen verschillen.

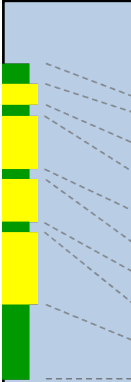
TECHNISCHE ASPECTEN – INJECTIECAPACITEIT VAN PUTTEN

Schatting van te injecteren hoeveelheid in stedelijke ondergrond

Op basis van geohydrologische kenmerken en enkele aannames voor het systeem van OWB is een eerste schatting te maken van de te injecteren hoeveelheid neerslag per uur in een matig grofzandig watervoerend pakket (Formatie van Kreftenheye), afgedekt door Holocene waterremmende lagen. Deze schatting is bedoeld om te bepalen of in stedelijk gebied een significante hoeveelheid kan worden geïnjecteerd, afgezet tegen de hoeveelheid neerslag bij hevige buien. De injectiecapaciteit van putten wordt o.a. gelimiteerd door:

- de toelaatbare waterdruk en stroomsnelheid op de putwand;
- de doorlatendheid van het watervoerend pakket;
- de putdiameter, -lengte en configuratie.

Hierop wordt de volgende drie bladzijden ingegaan. De gebruikte rekenmethoden worden in de kaders hierna toegelicht.



Diepte	grond	Geohydrologische eenheid	Horizontale doorlatendheid m/dag	Verticale doorlatendheid m/dag	weerstand / kD		Elastische berging	
					m ² /dag	range	[-]	range
0 tot -20	klei	Deklaag	0.02	0.02	kD = 1000 dag	factor 2	1.4E-03	factor 10
-20 tot -40	zand	wvp1	25	12.5	kD = 500 m ² /dag	factor 0,5	1.9E-05	factor 10
-40 tot -50	klei	sdl1	0.02	0.02	c = 500 dag	factor 2	3E-04	factor 10
-50 tot -100	zand	wvp2	25	12.5	kD = 1250 m ² /dag	factor 0,5	7.4E-06	factor 10
-100 tot -110	klei	sdl2	0.01	0.01	c = 1000 dag	factor 10	1.0E-04	factor 10
-110 tot -150	zand	wvp3	10	5	kD = 400 m ² /dag	factor 5	3.7E-06	factor 10
-150 tot -160	klei	sdl3	0.01	0.01	c = 1000 dag	factor 10	2.4E-06	factor 10
-160 tot -230	zand	wvp4	10	5	kD = 700 m ² /dag	factor 5	4.9E-05	factor 10
-230 tot -300	klei	sdl4	0.01	0.01	c = 7000 dag	factor 10		

Schematisering grondwatermodel ASR-proef 's-Gravenzande (Westland)

Stationaire berekening

De infiltratie is met de formule van DeGlee te bepalen, die geldt voor putstroming in semi-afgesloten pakket:

$$Q = dh \cdot 2\pi \cdot kD / K_0 (r/L),$$

met $dh = h_1 - h_0$ en K_0 de Besselfunctie van orde nul en L als spreidingslengte met $L = \sqrt{(kD \cdot c)}$.

De volgens DeGlee berekende debieten geven realistische waarden voor optredende stroming bij verschillende stijghoogteverschillen. Uit de praktijk blijken dergelijke infiltratiedebieten te realiseren.

Tijdsafhankelijke berekening

Om effecten van elastische berging en putconfiguratie in te schatten, is een model van de ASR-proef in 's-Gravenzande gebruikt ([Van der Schans & Paalman, 2014](#)). Hierbij is uitgegaan van de schematisering in de figuur linksonder.

De berekende infiltratiecapaciteit (57 m³/uur) komt redelijk overeen met gemeten waarden (40 m³/uur). Verschillen worden veroorzaakt door oplopende stijghoogte in het watervoerende pakket gedurende het injectieseizoen, waarmee de relatieve 'overdruk' vanuit de 3 m hoge voordrukbuï afneemt. Hier is in het vereenvoudigde rekenmodel geen rekening mee gehouden.

Toelaatbare stroomsnelheid

Er zijn grenzen aan de maximale stroomsnelheid op de filterwand voor langdurig werkzame onttrekkingsputten. De rekenmethoden van Sichardt limiteert het ontwerpdebiet tot circa 100 m³/uur (zie kader hiernaast).

Deze richtlijnen zijn bedoeld voor permanente onttrekkingen en injectiebronnen. Het periodiek stoppen of omkeren van de stromingsrichting helpt juist om [verstopping tegen te gaan](#). Op grond daarvan mag worden aangenomen dat een tijdelijke overschrijding van dit maximale infiltratiedebiet tijdens hevige neerslag geen harde randvoorwaarde vormt.

Limietdebiet

De stromingsnelheid op de filterwand wordt volgens Sichardt (Huisman, 1972) voor langdurig werkzame onttrekkingsputten gelimiteerd tot een omvang van:

$$v_{\text{ontw}} = 1/30 * \sqrt{k}$$

Daarin is:

- ontwerpstroomsnelheid v_{ontw} (m/s)
- doorlatendheid k (m/s).

Het limietontwerpdebiet wordt berekend met:

$$Q_{\text{ont,lim}} = v_{\text{ontw}} * 2 * r_0 * D.$$

Een andere berekeningswijze volgt uit de richtlijn van [BodemenergieNL](#) voor infiltratieputten van WKO-infiltraties, met de volgende ontwerpfiltratiesnelheid:

$$v_{\text{ontw}} = 1000 * (k/50)^{0,6} * \sqrt{(v_v / (2 * \text{MFI} * \mu_{\text{eq}}))}$$

waarin:

- ontwerpfiltratiesnelheid v_{ontw} (m/uur)
- doorlatendheid k (m/d) = kD (m²/d) gedeeld door dikte WVP D (m)
- membraan filtratie index $\text{MFI} = 2$ s/m² (maat voor putverstopping)
- verstoppingssnelheid $v_v = 0,1$ m/jaar
- equivalente vollasturen μ_{eq} (uur/jaar)

Uitgaande van gemiddeld 660 uur neerslag per jaar (KNMI), is het limietontwerpdebiet volgens NVOE-richtlijn 2.330 m³/d, oftewel 97 m³/uur. Hierin is de MFI voor WKO aangehouden als maat voor gezuiverd regenwater. De MFI voor regenwater van straten of daken, al of niet gezuiverd, is niet bekend.

TECHNISCHE ASPECTEN – TOELAATBARE WATERDRUK

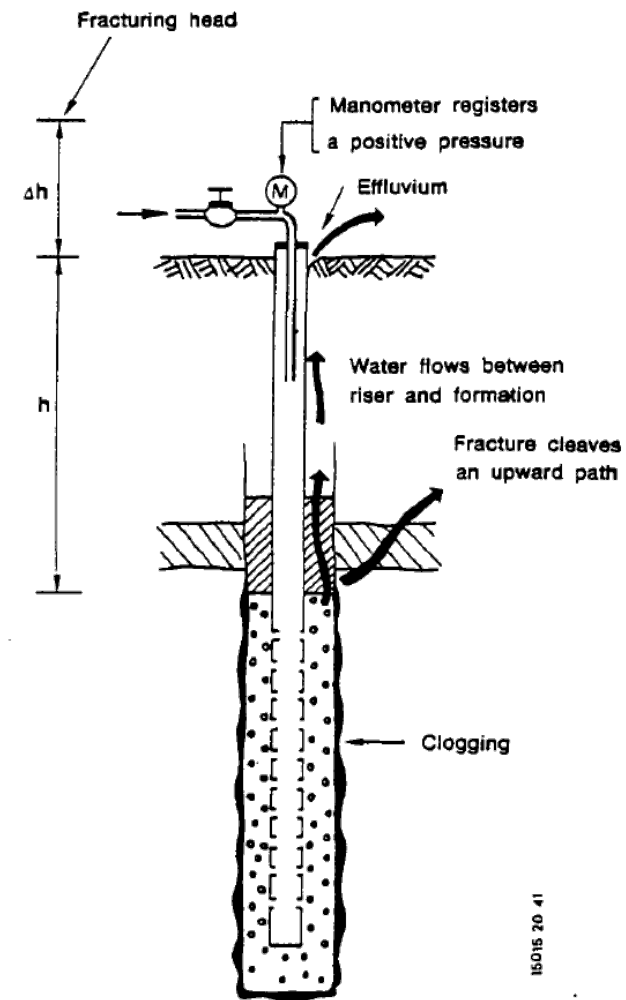
Toelaatbare waterdruk

Een te hoge injectiedruk leidt tot het splijten van de bodem op de rand van de stijgbuis, waarna bodemmateriaal kan uitspoelen en het water langs de put omhoog stroomt. De hoogst toelaatbare injectiedruk moet dit voorkomen ([Olsthoorn, 1982](#)).

- Bij een holocene deklaag van 10 m dik, is de maximaal toelaatbare waterdruk 2 m, uitgaande van een stijghoogte tot aan maaiveld.
- Bij een tweede watervoerend pakket tussen NAP-40m en NAP-60m, met doorlatendheid vergelijkbaar aan het eerste watervoerend pakket, is de max. toelaatbare waterdruk 8 m.
- In hoog Nederland is een veel hogere waterdruk toelaatbaar door de hogere ligging van het maaiveld t.o.v. de watervoerende lagen.

In sterke kwelsituaties is al overdruk in de bodem t.o.v. maaiveld en is de toelaatbare waterdruk lager, wat de injectiecapaciteit beperkt.

Bij de toelaatbare waterdruk moet rekening worden gehouden met 'kortsluitstroming' op locaties met wellen. Deze wellen kunnen het gevolg zijn van opbarsting van de afdekkende laag in het verleden, of samenhangen met de sedimentologie van de deklaag, bijvoorbeeld waar goed doorlatende stroomgeulafzettingen voorkomen. Bij injectie van water in de ondergrond moet altijd het risico voor opbarsting worden beschouwd.



Schematische weergave van bodemsplijting door te hoge waterdruk ([Olsthoorn, 1982](#))

Infiltratiecapaciteit van de ondiepe aquifer

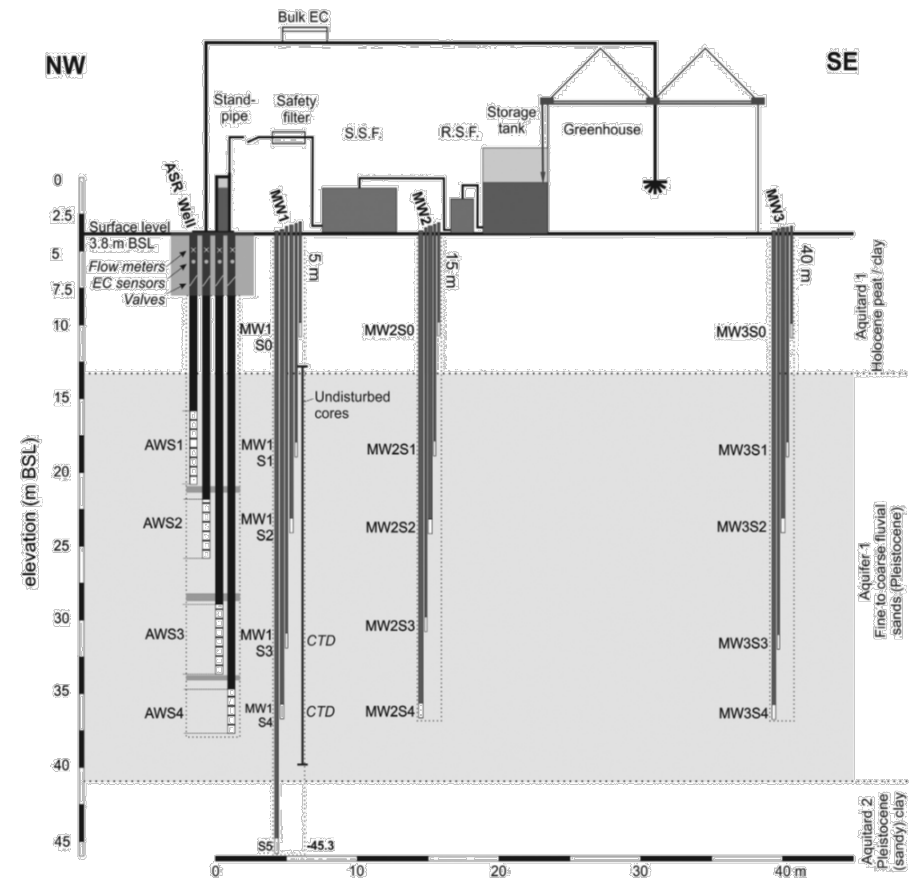
De infiltratiecapaciteit in West-Nederland is over het algemeen groot genoeg. De doorlatendheid (kD) is groot. De waterdruk (stijghoogte) kan echter remmend werken. Vooral langs de randen van diepe polders waar de stijghoogte in het eerste of tweede watervoerend pakket ver boven het maaiveld kan uitsteken.

Elastische berging

In deze verkenning is de [elastische berging](#) niet meegenomen. Uit berekeningen blijkt namelijk dat deze alleen gedurende de eerste uren tot dagen na start van de injectie leidt tot een verhoogde injectiecapaciteit, tot enkele tientallen procenten ([Van der Schans & Paalman, 2014](#)).

In de ondiepe watervoerende pakketten van West-Nederland is het grondwater meestal verzadigd met opgelost methaan. Het is onduidelijk of dit de opslag en onttrekking van water beïnvloedt, en hoe hier evt. op geanticipeerd kan worden. Daarnaast kan het opgelost methaan de waterkwaliteit veranderen tijdens de opslag in de bodem. Dit zijn onderwerpen voor verder onderzoek.

Er moet ook rekening worden gehouden met het zoutgehalte van het grondwater in het watervoerend pakket. Naarmate het grondwater zouter is, kan de zoetwaterbel meer opdrijven. Dit effect is te beperken door de filterstelling van putten aan te passen ([Zuurbier et al., 2014](#)). Deze [multiput techniek](#) wordt 'Multiple Partially Penetrating Wells' (MPPW) genoemd (zie afbeelding).



Schema van pilot met links de put met verschillende filterstelling ('MPPW') en rechts drie monitoring putten ([Zuurbier et al., 2014](#))

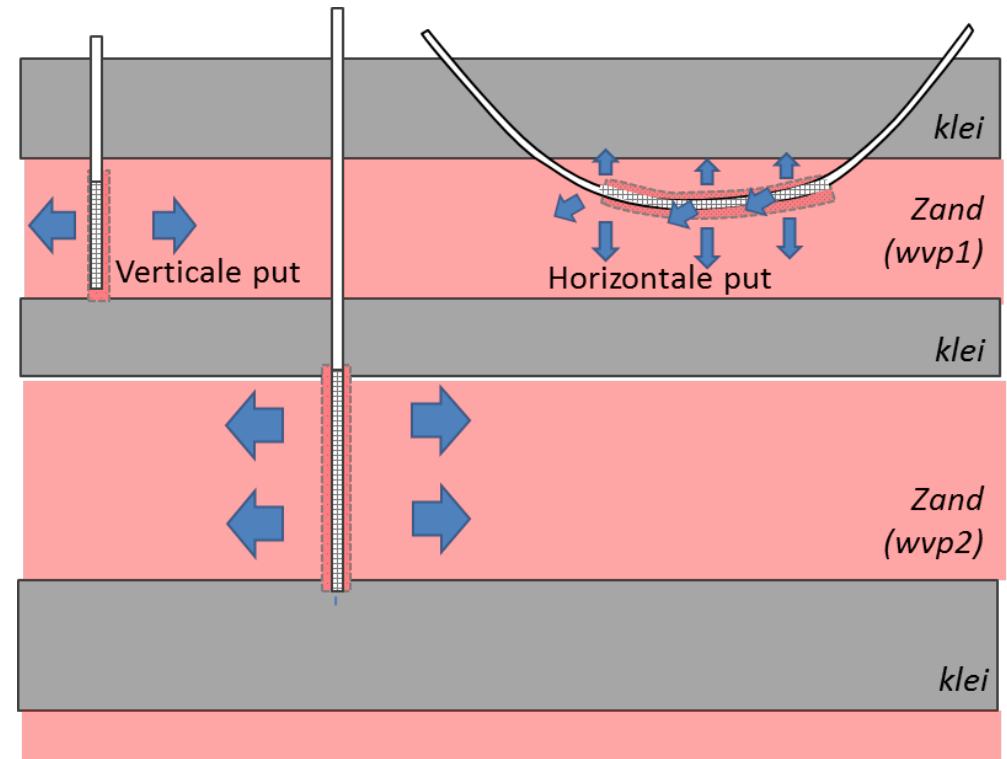
TECHNISCHE ASPECTEN – PUTDIAMETER, PUTLENGTE EN PUTSYSTEEM

Opbouw van het putsysteem

De injectiecapaciteit wordt mede bepaald door de opbouw van het putsysteem. Mogelijkheden om deze te vergroten zijn:

- aanleg van de put in een diepere watervoerende laag, waar een [hogere waterdruk](#) toelaatbaar is;
- vergroten van de diameter van de put (omstorting);
- vergroten van de lengte van het filter in de watervoerende laag met een horizontale put (HDDW, 'Horizontal Directional Drilled Wells'). Bijkomend voordeel is betere spreiding van de druktoename (minder zetting) en mogelijkheid voor injectie op moeilijk bereikbaar locaties. Het risico op beschadiging is wel groter bij intensief en toenemend gebruik van de stedelijke ondergrond.

Een andere methode die momenteel wordt onderzocht om de infiltratiecapaciteit van putten te onderzoeken, is zogenoemde [Düsen Saug Infiltration](#) (DSI).



Schets van drie mogelijke putsystemen

TECHNISCHE ASPECTEN – MAATGEVENDE CAPACITEIT PUTTEN

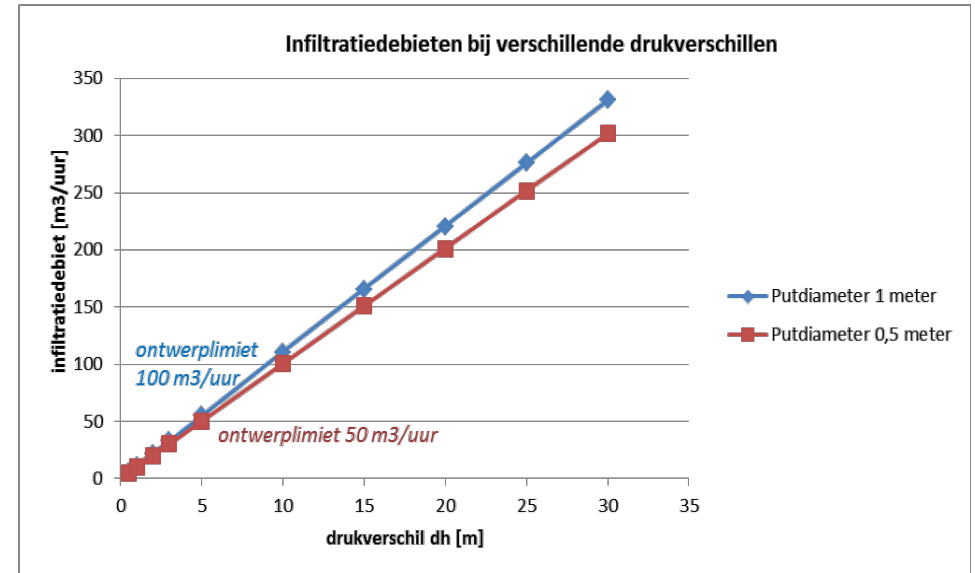
Maatgevende capaciteit van injectieputten

Bij het bepalen van de infiltratiecapaciteit van een put is gebruik gemaakt van voor laag Nederland typerende bodemkenmerken:

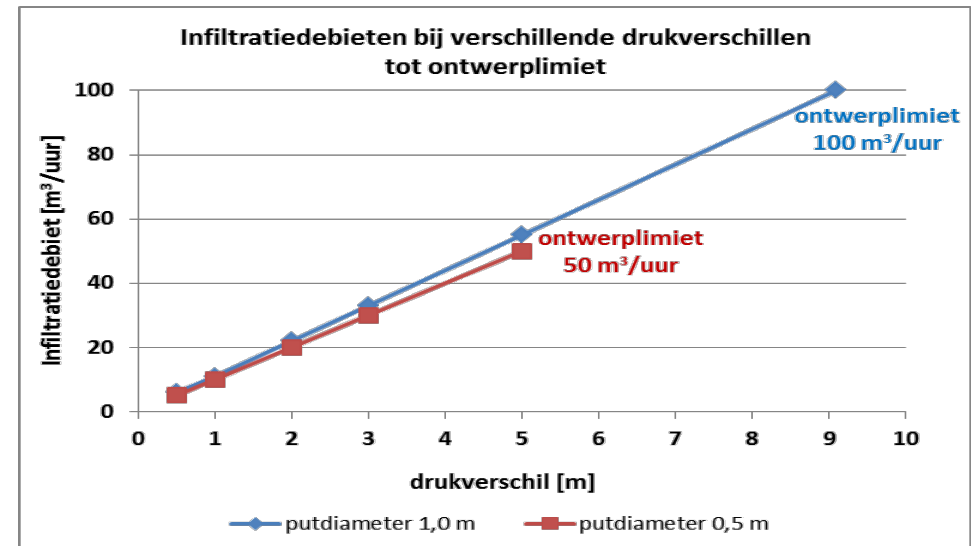
- dikte holocene $d = 10$ m;
- hydraulische weerstand holocene lagen $c = 100$ d/m dikte;
- dikte watervoerend pakket (Kreftenheye) $D = 20$ m (in het algemeen tussen 10 en 25 m);
- doorlatendheid Kreftenheye K (kreeft) = 15 m/d;
- filterlengte in Kreftenheye is 20 m (in holocene lagen geen filter);
- stijghoogte in Kreftenheye is gelijk aan of lager dan maaiveld;
- voor berekening debieten is uitgegaan van zoet grondwater, bij bepaling terugwinrendement is rekening gehouden met aanwezigheid van brak grondwater (conservatieve bepaling).

Uitgaande van bovenstaande kenmerken voor bodem en put, geeft de grafiek rechtsboven voor een range van drukverschillen aan hoeveel water in de bodem infiltreert bij een putdiameter van 0,5 m (relatief klein) en 1,0 m. Uit de berekening volgt dat de invloed van de putdiameter beperkt is.

Rekening houdend met de maximale stroomsnelheid op de filterwand voor langdurig werkzame onttrekkingsputten, bedraagt de limiet voor de putdiameter van 0,5 m en 1,0 m respectievelijk ca. 50 en 100 m³/uur (zie toelichting [berekeningswijze](#)).



Infiltratiedebieten bij toenemend drukverschil, voor een volkomen putfilter met 20 m lengte



Ingezoomd op het infiltratiedebiet tot de ontwerplimiet

Invloeden op het terugwinrendement

Het percentage geïnjecteerd water dat uit een ondergrondse waterberging is terug te winnen, hangt af van (Stuyfzand, 2012*; Zuurbier et al, 2013**, niet openbaar):

- **Bodemopbouw:** De watervoerende laag moet niet te dik zijn in verhouding tot de hoeveelheid geïnjecteerd water, omdat anders de zoetwaterbel te smal blijft en er veel menging plaatsvindt aan de randen. Richtlijn hiervoor is een maximale laagdikte van 3x de diameter van de zoetwaterbel (indicatief 10 tot 20 m). De watervoerende laag is aan boven- en onderzijde afgesloten door een slecht doorlatende laag, om menging aan boven- en onderzijde te voorkomen (dikte afsluitend klei-/veenpakket indicatief > 5 m).
- **Zoutconcentratie:** Hogere zoutconcentraties veroorzaken opdrijven en menging van de zoetwaterbel, waardoor het rendement afneemt. Idealiter is de zoutconcentratie < 1.000 mg/l, tenzij een lager rendement volstaat.
- **Grondwaterstroming:** Een hoge achtergrondstroming (>10 m/jaar) leidt tot wegdrijven van de zoetwaterbel.
- **Andere doorboringen en gebruikers:** Slecht afgedichte doorboringen van scheidende lagen kunnen tot waterverlies door lekstromen leiden. Ook interferentie met bijv. WKO of grondwatersanering kan het rendement beïnvloeden.

- **Netto watervraag en –aanbod:** Dit is afhankelijk van het aangesloten oppervlak en de gebruikers. Bij kleinschaliger toepassingen met klein aanbod mengt een groot deel van de gevormde zoetwaterbel met brak/zout grondwater. Uit onderzoek blijkt dat ten minste 25 ha verhard oppervlak nodig is voor voldoende aanbod en terugwinning van zoetwater met een acceptabel rendement van ca. 60% ([Van der Schans & Paalman, 2014](#)).

Voor het snel injecteren van grote hoeveelheden water gelden deels andere randvoorwaarden dan hiervoor beschreven voor een hoog terugwinrendement, namelijk:

- een maximale dikte en doorlatendheid van het pakket (zo min mogelijk scheidende lagen), zodat het water in een zo dik mogelijk pakket infiltreert;
- hogere zoutconcentraties en hogere stroomsnelheid hebben geen invloed op de injectiesnelheid (wel op het terugwinrendement).

* Stuyfzand, P.J, P. Nienhuis, A. Antoniou, K. Zuurbier, 2012, *Haalbaarheid van ondergrondse waterberging in Hollands Kustduinen*. KWR 2012.082

** Zuurbier, K. M.L. van der Schans; D. de Gelder, 2013, *Ondergrondse waterberging Glasparel+; Rendementsanalyse en ontwerp*, KWR 2013.103

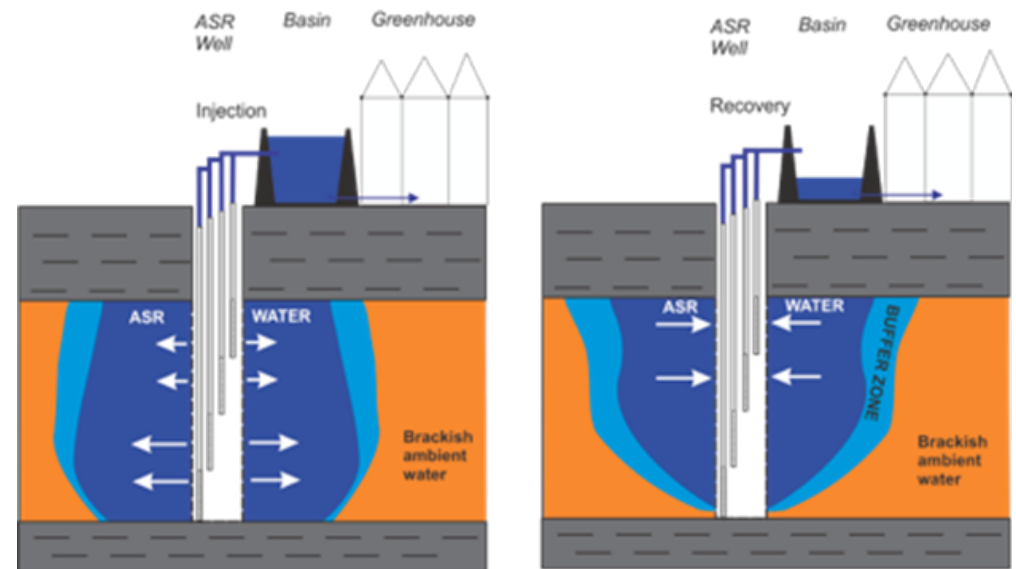
TECHNISCHE ASPECTEN – RENDEMENT TERUGWINNING

Multiput: techniek om het rendement te verhogen

Het rendement wordt nooit 100% omdat er altijd menging plaatsvindt aan de randen. Onder zeer gunstige omstandigheden kan het rendement toenemen tot 90%.

In grote delen van west en noord Nederland is het grondwater brak of zout en kan het water niet zomaar met een volkomen put in de ondergrond worden geïnjecteerd.

De afbeelding toont in een dwarsdoorsnede hoe een 'multiput' systeem werkt. In de injectiefase wordt het zoete water via meerdere putten op verschillende diepten geïnjecteerd. Door dit systeem kan het zoute grondwater effectief worden weggedrukt. Omdat zout water zwaarder is dan zoet water, heeft het zoute water de neiging om onder het zoete water te 'kruipen'. Door in de injectiefase meer water in de diepere laag te infiltreren, wordt dit proces tegengegaan. Bij het onttrekken van water wordt juist water uit de bovenste lagen van de aquifer onttrokken ([Zuurbier et al., 2014](#)).



Werking waterberging in zoute aquifer

Locaties met wellen

Bij diepinfiltratie kan 'kortsluitingsstroming' voorkomen op locaties waar wellen zijn. Deze kunnen zijn veroorzaakt door opbarsting van de afdekkende laag, of samenhangen met de sedimentologie van de deklaag, bijvoorbeeld waar goed doorlatende stroomgeulafzettingen voorkomen. Deze locaties kunnen snel reageren op infiltratie. Bij plannen voor diepinfiltratie moet altijd het risico voor opbarsting en aanwezigheid van wellen of 'oude' putten worden beschouwd.

Interferentie met andere ondergrondgebruikers

Ondergrondse waterberging kan mogelijk negatieve effecten hebben op WKO-systemen in de omgeving. Zo leidt de verzoeting ook tot een verandering in de redoxtoestand van het grondwater en tot kleimobilisatie waardoor putverstopping kan optreden. Het injecteren van grote hoeveelheden koud regenwater kan ook leiden tot het wegdrukken van warme- en koudebellen. Een ander risico is dat scheidende lagen al zijn doorboord door bestaande putten zonder goede afdichting. Hierdoor kunnen lekstromen ontstaan die het (terugwin)-rendement van de ondergrondse waterberging sterk reduceren.

Risico's voor gebruiksfuncties

Het sterk opvoeren van de waterdruk in een poreuze zandlaag kan leiden tot vermindering van de stabiliteit van deze laag. Dit kan leiden tot het verzakken van funderingen, of tot opdrijving van bouwwerken.

Effect van ondergrond op kwaliteit geborgen water

Het geïnfiltreerde water kan worden 'verontreinigd' door de geochemische samenstelling van de aquifer. De ondiepe aquifers in West-Nederland bevatten bijvoorbeeld veel sporenmetalen die oplossen wanneer ze in contact komen met oxisch water ([Stuyfzand, 1998](#)).

Toename kwel naar oppervlaktewater

Het water wordt opgeslagen in de diepe ondergrond. Uit indicatieve berekeningen blijkt dat zolang er een voldoende dikke waterremmende laag aanwezig is boven de aquifer, het geïnjecteerde water niet direct tot meer afvoer zal leiden in het oppervlaktewatersysteem van naar het oppervlaktewater kwellend grondwater ([Van der Schans & Paalman, 2014](#)).

Stimuleren zettingen

Door de druktoename in de ondergrond zal het maaiveld tijdelijk (reversibel) stijgen. Hierdoor kan in theorie na verloop van tijd schade aan gebouw en infrastructuur ontstaan. Met name als de deklaag dun en heterogeen van opbouw is, kunnen ongelijkmatige zwellingen optreden. Gebieden met een dunne, heterogene deklaag kunnen schade oplopen door ongelijkmatige zettingen. Dergelijke gebieden zijn daarom niet geschikt voor ondiepe ondergrondse waterberging.

UITGANGSPUNTEN VOOR ANALYSES – STEDELIJK GEBIED, NEERSLAG

Om de potentie van de drie concepten voor ondergrondse waterberging in de stad te verkennen, zijn analyses uitgevoerd. Voor de berekeningen zijn uitgangspunten gekozen, die aansluiten bij de situatie zoals die in de praktijk veel voorkomt.

Kenmerken stedelijk gebied

Per hectare stedelijk gebied zijn de volgende verhoudingen in type oppervlak aangehouden:

- 0,20 ha daken (gemiddeld ca. 40 woningen);
- 0,10 ha wegen;
- 0,20 ha overig verhard oppervlak;
- 0,45 ha onverhard oppervlak;
- 0,05 ha oppervlaktewater.

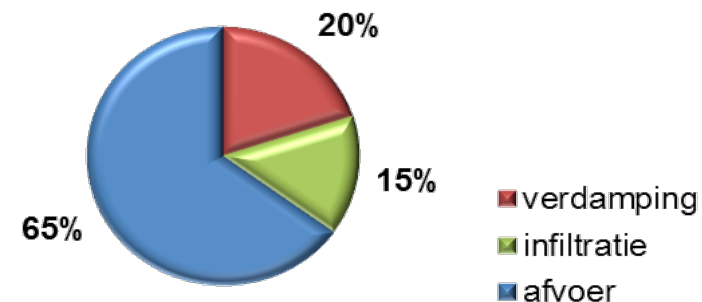
In deze verdeling is 50% van stedelijk gebied verhard, waarbij wordt opgemerkt dat dit per wijk en centrum kan verschillen.

Gemiddeld beschikbare hoeveelheid regenwater per jaar

Van de 800 mm neerslag die gemiddeld per jaar op daken en verhard oppervlak valt (De Bilt, 1906-2013), komt circa 65% (Hoogewoud et al., 2011) ofwel 520 mm, tot afstroming naar de riolering. Afgezien van enkele extreme buien waarvan niet alle neerslag is op te vangen voor injectie in de ondergrond, is deze hoeveelheid in potentie beschikbaar voor ondergrondse waterberging. Met bovenstaande oppervlakteverdeling, komt dat neer op gemiddeld **2.600 m³ regenwater per hectare stedelijk gebied per jaar**.



Verdeling van de afvoer van neerslag op verhard oppervlak (jaargemiddeld)



Jaargemiddelde verdeling van de afvoer van neerslag op verhard oppervlak, volgens uitgangspunten NHI 2.2 (Hoogewoud et al., 2011)

UITGANGSPUNTEN VOOR ANALYSES – REGENWATEROVERLAST

Regenwateroverlast

Het wateroverschot dat niet door het rioolstelsel kan worden verwerkt, wordt zoveel mogelijk verzameld en in de bodem geïnjecteerd. Rioolstelsels zijn doorgaans ontworpen en getoetst op het net niet optreden van 'water op straat' bij een theoretische ontwerpbui met een herhalingstijd van 1 x per 2 jaar (bui 08, Leidraad Riolering, module C2100). Deze bui 08 duurt een uur, met totaal 19,8 mm neerslag.

Als uitgangspunt voor het bepalen van de potentie van ondergrondse waterberging t.a.v. het beperken van wateroverlast, is voor de berekeningen aangehouden dat het extra water van een ontwerpbui met een herhalingstijd van $T = 10$ jaar (bui 10, Leidraad Riolering), dat niet kan worden verwerkt door een gangbaar rioolstelsel, geïnjecteerd kan worden in de ondergronds. Deze bui 10 duurt drie kwartier, met totaal 35,7 mm neerslag.

Uit het kader hiernaast volgt dat in 45 minuten een wateroverschot van ca. 9 tot 14 mm (t.o.v. het verhard oppervlak) moet worden geborgen om wateroverlast te voorkomen. Daarbij is er vanuit gegaan dat geen extra water van onverhard oppervlak geborgen hoeft te worden.

Voor deze verkenning is, ter beperking van wateroverlast, van een te bergen hoeveelheid neerslag van ten minste **10 mm per uur** uitgegaan, gerekend over het verhard oppervlak, of **50 m³/uur per hectare stedelijk gebied** (bij 50% verhard oppervlak).

type stelsel	gemengd	verbeterd gescheiden
rioolberging (mm)	9	4
rioolafvoer naar zuivering (mm/u)	0,7	0,3
overloopcapaciteit naar water (mm/u)	21,6 (60 l/s/ha)	21,6 (60 l/s/ha)

Gangbare bergings- en afvoercapaciteit van gemengde en verbeterd gescheiden rioolstelsel in Nederland

Als alleen de neerslag op verhard oppervlak wordt beschouwd en wordt uitgegaan van 1 mm inloopverlies, dan wordt van deze $T=10$ bui

- **in een gemengd stelsel:**
 - 9 mm in het rioolstelsel geborgen,
 - 0,5 mm afgevoerd naar de zuivering ($0,7 \text{ mm/u} * \frac{3}{4} \text{ uur}$),
 - ruim 16 mm overgestort op oppervlaktewater ($21,6 \text{ mm/u} * \frac{3}{4} \text{ uur}$), en is er een overschot van circa 9 mm dat niet door de riolering kan worden verwerkt ($35,7 - 1 - 9 - 0,5 - 16 \text{ mm}$), ofwel 45 m³ per hectare stedelijk gebied (9 mm over 0,5 hectare);
- **in een verbeterd gescheiden stelsel:**
 - 4 mm in het rioolstelsel geborgen,
 - 0,2 mm afgevoerd naar de zuivering ($0,3 \text{ mm/u} * \frac{3}{4} \text{ uur}$),
 - ruim 16 mm overgestort op oppervlaktewater ($21,6 \text{ mm/u} * \frac{3}{4} \text{ uur}$), en is er een overschot van ruim 14 mm dat niet door de riolering kan worden verwerkt ($35,7 - 1 - 4 - 0,2 - 16 \text{ mm}$), ofwel 70 m³ per hectare stedelijk gebied (14 mm over 0,5 hectare).

UITGANGSPUNTEN VOOR ANALYSES – WATERTEKORT

Watertekort

Een watertekort kan ontstaan als de verdamping over een langere periode groter is dan de neerslaghoeveelheid. Het tekort uit zich in: daling van bodemvochtgehalte en (freatische) grondwaterstand, afname van de actuele verdamping en toename van de waterbehoefte voor peilbeheer en doorspoeling.

De tabel hiernaast geeft voor de zomermaanden aan hoe groot het tekort is in stedelijk gebied. Deze tekorten zijn kleiner dan de landelijke gemiddelden, doordat de actuele verdamping in de stad gemiddeld lager ligt dan in het landelijk gebied.

De hoeveelheid regenwater die bij één T=10 bui niet door het riool kan worden verwerkt (= 50 m³/uur per hectare stedelijk gebied, zie bladzijde hiervoor) en lokaal in de ondergrond kan worden geborgen, is dus voldoende om bijvoorbeeld de helft van het gemiddelde watertekort in augustus te compenseren (9,9 mm * 1 ha = 99 m³).

Uitgaande van deze tekorten per maand, bedraagt het doorlopend neerslagtekort eind augustus circa 50 mm, ofwel 500 m³ per hectare stedelijke gebied. In potentie is in een gemiddeld jaar 2.600 m³ regenwater per hectare stedelijk gebied per jaar beschikbaar, ruim voldoende om via ondergrondse waterberging in het neerslagtekort te kunnen voorzien, ook als het geïnjecteerde regenwater maar deels is terug te winnen.

maand	neerslagtekort [mm/maand]
april	5,1
mei	14,8
juni	7,1
juli	12,9
augustus	9,9

Neerslagtekort in stedelijk gebied, in gemiddeld jaar, op basis van neerslag, stedelijke verdamping en afvoer neerslag naar rwzi, exclusief vraag van drinkwater en industriewater (bron: [De Graaf et al., 2013](#))

UITGANGSPUNTEN VOOR ANALYSES – KWALITEIT WATERAANBOD

Samenstelling van afstromend regenwater

In opdracht van STOWA is een studie uitgevoerd naar de kwaliteit van afstromend hemelwater ([Boogaard & Lemmen 2007a](#), [2007b](#)) ([Boogaard et al., 2014](#)). Daarnaast zijn in enkele regenwaterstelsels metingen uitgevoerd ([De Graaf et al., 2012](#)). De resultaten van beide studies zijn vergelijkbaar en samengevat in de tabel. De belangrijkste conclusies zijn:

- Afstromend regenwater bevat in de regel zodanig hoge concentraties nutriënten (N,P) en zwevende stof dat deze zonder voorzuivering tot verstopping van diepinfiltratieputten kan leiden.
- Het zwevend-stofgehalte in afstromend regenwater van daken is doorgaans lager dan dat van andere oppervlakken.
- De meeste zware metalen en PAK's zijn hoger dan de achtergrondwaarden van natuurlijk zoet grondwater. In brak grondwater komen van nature meer sporenmetalen voor. Hier hoeft injectie van regenwater voor deze parameters niet tot kwaliteitsafname te leiden. Milieuvreemde stoffen zoals PAK's kunnen wel een probleem vormen.
- De variatie van verontreinigingen is groot en houdt verband met de plek van inzameling: daken, rustige of drukke wegen, parkeerplaatsen ([Van Rens, 2006](#)).

	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
Mediaan	0,15	1,1	11	0,06	6	3,6	60	0,8	1,5
Grondwater (zoet)*	0,05	0,85	<0,63		<0,02	<0,59	<6,5		
	Olie mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	BZV mg/l	CZV mg/l	P-tot mg/l	N-kjel mg/l	Zwevende stof mg/l	E.coli (kve/100ml)
Mediaan	1	11	1,1	3,1	20,0	0,3	1,1	17	6.700
Grondwater (zoet)*									

Concentraties verontreiniging in afstromend regenwater van vergeleken met norm (Bron: [Boogaard et al., 2014](#)), Grondwater = natuurlijke achtergrondwaarde van zoet grondwater in zandgebieden, opgelost ([TCB 2009](#))

- De meeste microverontreinigingen zoals PAK's en zware metalen zijn gebonden aan deeltjes >0,45 µm. Dit is tevens de grens in de definitie voor opgelost en niet-opgeloste stof. Dit wil nog niet zeggen dat deze stoffen goed door bezinking zijn te verwijderen. Deeltjes <50 µm zijn moeilijk bezinkbaar en juist aan deze fractie zit een groot gedeelte van de verontreinigingen gebonden

Samenstelling van drainagewater

In veel stedelijke gebieden in laag Nederland wordt de grondwaterstand beheerst door buisdrainage. Het drainagewater wordt geloosd op het oppervlaktewater, via regenwaterriolering, gemengde riolering en soms via aparte drainage-afvoerleidingen. Drainagewater bestaat grotendeels uit geïnfiltreerd regenwater, maar kan ook deels uit opstijgend diep grondwater bestaan. De waterkwaliteit wordt beïnvloed door wat aan het maaiveld wordt opgebracht (strooizout, nutriënten, etc.), maar ook door bodem-chemische processen, zoals de oxidatie van pyriet. Er is nog weinig bekend over deze waterkwaliteit.

Zwevend stof in stedelijk oppervlaktewater

Voor zwevend stof in stedelijk oppervlaktewater is een waarde van 10 tot 30 mg/l aan te houden ([STOWA-publicatie nr.10, 2012](#); [CIW, Normen voor het Waterbeheer, Achtergronddocument NW4, 2000](#)).

Noodzaak van voorzuivering voor injectie

De beschikbare onderzoeksresultaten naar de kwaliteit van afstromend regenwater en drainagewater duiden er op dat het zonder voorzuivering, ongecontroleerd infiltreren hiervan onverstandig is. De kwaliteit is daarvoor te slecht en te twijfelachtig. Ook voor infiltratie van oppervlaktewater zal [voorzuivering](#) noodzakelijk zijn.

Belang van de kwaliteit van het wateraanbod

De kwaliteit van het wateraanbod voor injectie in de ondergrond is van belang voor zowel het goed functioneren van de put als voor de bescherming van de grondwaterkwaliteit.

1. Bescherming grondwaterkwaliteit

In het kader van de Waterwet moet bij (vergunningverlening voor) infiltratie van water steeds het belang van bescherming van de grondwaterkwaliteit worden meegewogen.

2. Verstopping door zwevend stof

Deze verstopping in de putomstorting of de rand van het boorgat, wordt uitgedrukt in een drukverlieshoogte die volgens de literatuur (Huisman, artificial recharge, dictaat TUD 1972) lineair verloopt met aanbod in de tijd van een bepaalde concentratie c van stof in het infiltratiewater.

$$s_c = \alpha * (Q^2 * c * t) / (4 * \pi * r_0^2 * H)$$

De factor α is gelijk aan:

$$\alpha = (k - k') / (k * k' * (p - p') * \rho_d)$$

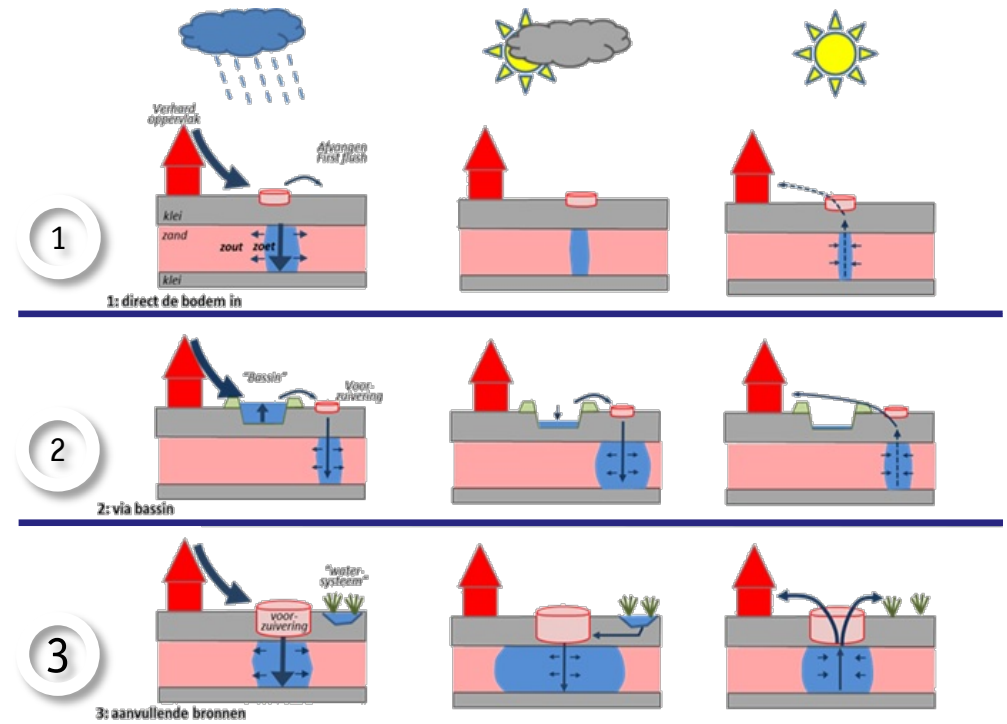
waarin k' en p' respectievelijk de doorlatendheid en porositeit zijn van de verstopte laag rond het boorgat en ρ_d de dichtheid van het afgezette zwevend stof. De factor is waarschijnlijk ongeveer gelijk aan $0,3E-3$.

De [STOWA publicatie nr.35, 2015](#) geeft een technisch-juridische handreiking voor de risicobeoordeling van ondergrondse waterberging.

UITGANGSPUNTEN VOOR ANALYSES – TE VERKENNEN CONCEPTEN

Het algemene principe van ondergrondse waterberging is dat zoetwater in een geschikte watervoerende laag (aquifer) in de ondergrond wordt opgeslagen. Het water kan later eventueel worden teruggewonnen. Hierdoor kan water uit tijden van overschot worden gebruikt in tijden van watertekort (in zomer). Hiervoor zijn verschillende concepten denkbaar. In deze verkenning zijn drie basisconcepten beschouwd:

1. Directe ondergrondse waterberging:
Afstromend regenwater wordt direct in de bodem geïnjecteerd, na afvangen van blad en vuil en bypass van eerste afstroming. Het water kan in droge perioden worden teruggewonnen en benut.
2. Ondergrondse waterberging via bassin, reservoir of vijver:
Afstromend regenwater wordt eerst in een bassin, reservoir of vijver opgevangen. Het water kan voorafgaand, tijdens en/of na de neerslag geïnjecteerd worden. Hierdoor kan vervuild regenwater bezinken en is meer regenwater op te vangen of volstaat een kleinere voorzuiverings- en injectiecapaciteit (in vgl. met 1.)
3. Ondergrondse waterberging met aanvullende waterbronnen:
Naast (in)directe infiltratie van neerslag kan aanvullend water uit andere bronnen worden geïnfiltrerd, zoals oppervlaktewater of effluent van een rioolwaterzuivering. Hierdoor is meer water te infiltreren en terug te winnen (in vgl. met 1. en 2.)



Drie verkende concepten van ondergrondse waterberging in de stad, met links: gedurende neerslag, midden: in periode met wateroverschot, rechts: teruggewinnen in periode met watertekort

UITGANGSPUNTEN VOOR ANALYSES – KENMERKEN VAN CONCEPTEN

Technische kenmerken voor de drie te verkennen concepten

De technische kenmerken van de drie systemen zijn samengevat in de tabel hiernaast. Bij het bepalen van de getallen is gebruik gemaakt van eerdere aannames over representatieve bodemopbouw en andere randvoorwaarden.

Directe ondergrondse waterberging (concept 1) verwerkt grote volumestromen, waarvoor andere zuiveringsmethoden nodig zijn dan de technieken die worden toegepast bij ASR-systemen. Uitgaande van de aanvoer van afstromend dakwater, voldoet een eenvoudige voorzuivering die bestaat uit een 'bypass' van eerste afstromende regenwater en een vuilrooster voor de pomp.

Bij ondergrondse waterberging via een bassin (concept 2) wordt het regenwater door een langzaam zandfilter geleid. De verwijdering van fijne deeltjes vermindert een groot deel van de verontreinigingen, zodat ook het eerste afstromende regenwater (deels) is te infiltreren. Hierdoor is het risico op verontreiniging van het bassin kleiner en is meer water beschikbaar voor terugwinning.

Ondergrondse waterberging met aanvullende waterbronnen (concept 3) vereist een uitgebreider zuiveringsstap. Om putverstopping door ijzeraanslag op lange termijn te voorkomen, is een oxidatiestap van het vaak 'gereduceerde drainagewater' nodig, gevolgd door een bodempassage (bijv. zandfilter) als flocculator van ijzer.

Onderdeel		1: directe injectie	2. via reservoir	3. Overige bronnen
Waterbron en zuivering				
Afvoerend oppervlak	ha	2	6,5	6,5
Reservoir: capaciteit	m ³	n.v.t.	600**	600
Reservoir: ledigingstijd	uur	n.v.t.	12	12
type voorzuivering		Eenvoudig. Eerst afstroming afvangen	Intensievere zuiveringsmethode	Intensievere zuiveringsmethode
Putsystemen en capaciteit				
Capaciteit putsysteem	m ³ /uur	200	50	50

** de benodigde buffercapaciteit is als volgt bepaald:

- capaciteit injectieput is 50 m³/uur
- toelaatbare ledigingstijd bassin is 12 uur (uitgangspunt voor verkenning, gekozen i.v.m. opvolging van buien in relatie met infiltratiecapaciteit)
- benodigde cap. reservoir = 50 m³/uur x 12 uur = 600 m³.

Voor de berekening van de capaciteit is uitgegaan van de volgende situatie: een put van 0,5 meter doorsnede, een drukverschil van 2 meter en een bijbehorend infiltratiedebiet van 20 m³/uur. Als de bijdrage van de elastische bergingscapaciteit wordt meegerekend, is het maximale infiltratiedebiet circa 25 m³/uur (in praktijkproef 's-Gravenzande is 30 tot 40 m³/uur gehaald).

Ter vergelijking: voor deze verkenning wordt er vanuit gegaan dat bij een T=10 bui die 45 minuten duurt, 50 m³/ha moet worden geborgen om overlast te voorkomen. Hiervoor zijn per hectare stedelijk gebied dus ten minste 2 putten met bovenstaande kenmerken nodig (max. infiltratiedebiet 25 m³/uur per put).

Door het drukverschil met een pomp op te voeren tot 5 m, kan 50 m³/uur per put worden behaald waarmee alle wateroverschot bij T=10 bui van 1 ha kan worden geborgen (maatgevende capaciteit injectieputten), waarmee alle wateroverschot bij T=10 bui van 1 hectare kan worden geborgen.

Uitgangspunten kostenraming

Op deze en de volgende twee bladzijden bespreken we de globale kostenraming voor de drie concepten. Deze kostenraming is zeer indicatief, omdat die per locatie en situatie verschillend zal zijn.

Bij de kostenberekening van de concepten is rekening gehouden met de benodigde injectie- en bergingscapaciteit voor verwerking van 10 mm/uur. Verder is uitgegaan van de hiervoor beschreven technische kenmerken voor de drie te verkennen concepten.

Voor de aanlegkosten is rekening gehouden met:

- bouwkosten: kosten voor aannemer incl. risico, winstmarge en algemene kosten;
- bijkomende kosten: voor inrichting, begeleiding en bouwrente, gelijk aan 23% van de bouwkosten.

De volgende investeringen zijn niet meegenomen:

- onderzoekskosten om concept uit te werken tot een pilotinstallatie;
- grondverwerving of vestiging zakelijk recht;
- afkoppelen van daken van gebouwen, omdat dit per locatie sterk verschilt; de nulsituatie gaat sowieso uit van afgekoppeld oppervlak.

Voor exploitatie is de volgende onderverdeling aangehouden:

- investeringen: rente 5%, lineaire afschrijving in 25 jaar;
- verbruikskosten: elektriciteitstarief van 0,27 €/kWh;
- onderhoudskosten zuivering en putsysteem: 2% van bouwkosten; voor leidingen: 0,5% van bouwkosten;
- specifieke bedrijfskosten: personeel.

De kostenraming is gebaseerd op de volgende bronnen:

- bouwkosten voor putten, voorzuivering e.d. op basis van niet gepubliceerde offertes, projectafrekeningen, gedetailleerde calculaties en ervaringsgetallen van KWR in ASR-projecten;
- kosten voor afkoppelen en aanleg bassins op basis van kostenkengetallen Leidraad Riolering.

Een indicatie van de aanlegkosten van een injectieput in laag Nederland (exclusief bijkomende kosten) is:

- injectieput tot 30 m-mv, diameter 500 mm: 20 k€;
- 'Multiple Partially Penetrating Well' (MPPW) tot 40 m-mv, diameter 500 mm: 40 k€;
- injectieput tot 60 m-mv, diameter 1000 mm: 80 k€.

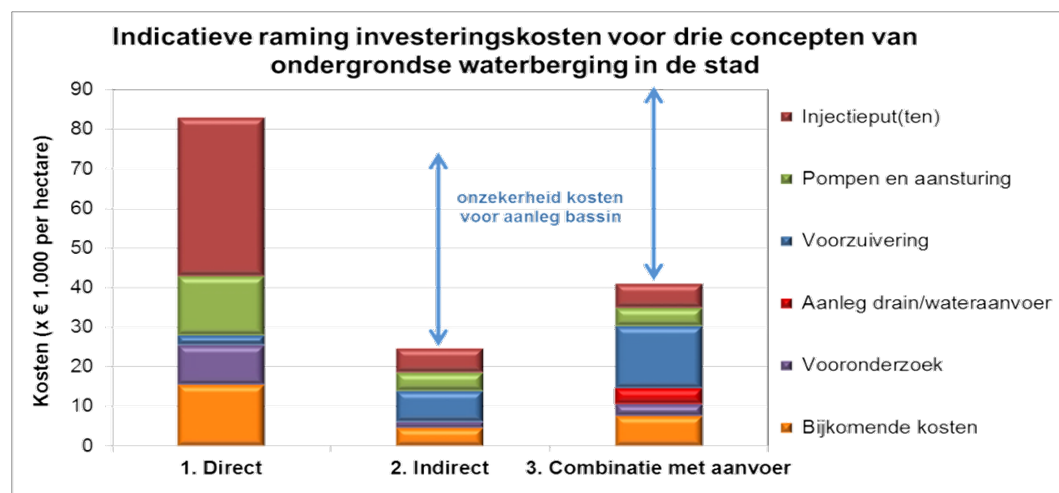
De aanleg van een injectieput in hoog Nederland zal minder complex zijn. De kosten hiervan zullen lager zijn, tenzij de putdiepte sterk toeneemt.

KOSTEN – INDICATIEVE KOSTENRAMING AANLEG

Resultaten raming aanlegkosten

De indicatieve raming van de aanlegkosten is samengevat in onderstaande grafiek en voor de vergelijkbaarheid uitgedrukt per hectare afvoerend (verhard) oppervlak. De investeringskosten liggen tussen de 25 en 80 duizend euro per hectare.

Wat opvalt is dat bij directe infiltratie (concept 1) de kosten vooral in de putaanleg zitten. Bij infiltratie via een bassin (concept 2) zijn de putkosten per hectare lager, omdat een groter verhard oppervlak is aangekoppeld en er met een ondiepere/ goedkopere put kan worden volstaan. De bijkomende kosten voor het bassin kunnen sterk variëren. Bij continue aanvoer (concept 3) zijn aanvullende investeringen nodig voor de aanvoer van water en een complexere zuivering.



Opbouw van investeringskosten voor de drie verkende concepten OWB in de stad, exclusief de kosten voor afkoppelen

Hoge afkoppelkosten en eventuele grondkosten

De kostenraming is exclusief de kosten voor afkoppelen om het regenwater bij de putten te brengen en exclusief de grondkosten voor het bassin bij concept 2 en 3.

De kosten voor afkoppelen kunnen 200 tot 400 k€ per hectare bedragen. Dit is een veelvoud van de geraamde investeringskosten voor de ondergrondse waterberging.

Van de bestaande diepinfiltratiesystemen in hoog Nederland bedroegen de kosten voor afkoppelen meer dan 75% van de totale bouwkosten.

Drukopbouw bij waterafvoer van hooggelegen daken

Door het water direct vanaf een hooggelegen dak te injecteren, worden kosten bespaard voor de aanleg van een pomp e.d. en er hoeven minder leidingen te worden aangelegd. Voorwaarde is dat er geen risico is dat de onder druk staande dakafvoer langs het gebouw breekt, bijvoorbeeld door beschadiging of aanrijding.

KOSTEN – INDICATIEVE KOSTENRAMING EXPLOITATIE

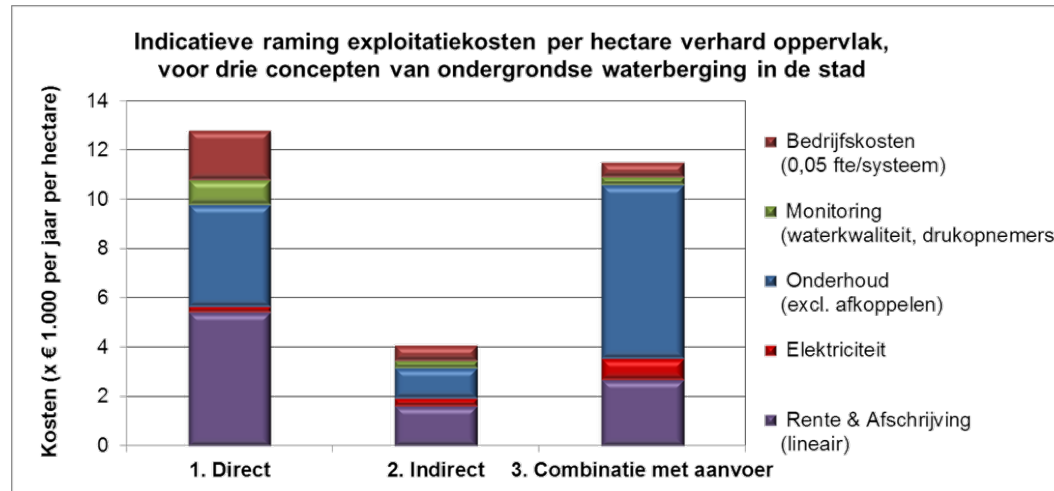
Resultaten raming exploitatiekosten (incl. afschrijving aanleg)

De indicatieve raming van de exploitatiekosten is samengevat in onderstaande grafiek en voor de vergelijkbaarheid uitgedrukt per hectare afvoerend (verhard) oppervlak.

De jaarlijkse exploitatiekosten van putten met een hoge capaciteit (concept 1) zijn vergelijkbaar met bestaande systemen in hoog Nederland: van € 4.000 tot € 13.000 per hectare. Exclusief rente en afschrijving bedragen de jaarlijkse exploitatiekosten € 2.500 tot € 8.800 per hectare. Toch is ondergrondse waterberging in laag Nederland duurder, omdat o.a. pompen, elektriciteitsvoorziening en behuizing nodig zijn en de individuele putten een lagere capaciteit hebben dan in hoog Nederland.

De exploitatiekosten per hectare zijn voor concept 1 relatief hoog, omdat met directe injectie een kleiner verhard oppervlak door één put kan worden bediend (2 ha). Bij de concepten 2 en 3 is met gebruik van een buffer, een groter verhard oppervlak per put te bedienen (6,5 ha).

De kosten voor concept 3 zijn echter niet veel lager dan voor concept 1, omdat bij concept 3 rekening moet worden gehouden met hogere onderhoudskosten vanwege een groter risico op putverstopping.



Opbouw van de exploitatiekosten voor de drie verkende OWB-concepten in de stad, exclusief de kosten voor afkoppelen

KOSTEN – VERGELIJKING MET KOSTEN ANDERE MAATREGELEN

Het is wenselijk om de kosten van ondergrondse waterberging te vergelijken met andere maatregelen om wateroverlast te bestrijden.

[SBRCURnet \(2014\)](#) heeft voor twee cases, een winkelstraat en een jaren '50 straat, de kosten bepaald van vier maatregelvarianten voor bestrijding van wateroverlast. De karakteristieke wateroverlast-situatie waarvan de analyse is uitgegaan, komt overeen met de situatie die in deze verkenning is gebruikt. De tabellen rechts tonen de aanleg- en beheerkosten per variant (beheerkosten zijn exclusief rente en afschrijving aanlegkosten). Zoals verwacht, zijn de aanlegkosten van wateroverlast beperkende maatregelen in dichtbebouwd gebied als een winkelstraat, aanzienlijk hoger dan in een woonwijk met ruimte voor water en groen.

Vanwege verschillen in uitgangspunten en detailniveau, heeft de kostenvergelijking met ondergrondse waterberging alleen indicatieve waarde. In dichtbebouwd gebied zijn de aanlegkosten per hectare verhard oppervlak hoger (225 tot 842 k€/ha) dan voor de drie beschouwde concepten voor ondergrondse waterberging (25 tot 80 k€/ha). Ook als de kosten voor afkoppelen (200 tot 400 k€) worden meegenomen, zijn de aanlegkosten lager dan voor afvoervergroting door aanpassing van riolen of bovengrondse inrichting.

De exploitatiekosten voor ondergrondse berging zijn per hectare verhard oppervlak wel hoger (2,5 tot 8,8 k€/ha, exclusief rente en afschrijving) in vergelijking met de beheerkosten van de varianten volgens [SBRCURnet, 2014](#) (0,4 tot 1,4 k€/ha).

variant	aanlegkosten		beheerkosten	
	per 1,75 ha	per ha	per 1,75 ha	per ha
vergroten afvoercapaciteit riolering	€ 1.457.000	€ 833.000	€ 1.350	€ 770
bovengrondse aanvoer beperken met beperkte aanpassing inrichting	€ 395.000	€ 226.000	€ 720	€ 410
bovengrondse afvoer door aanpassing ruimtelijke inrichting	€ 1.474.000	€ 842.000	€ 2.480	€ 1.420

Kostenraming aanleg en beheer van maatregelen in winkelstraat van 350 m lengte, 10 m breedte en winkels aan weerszijden van 20 m diepte (= 1,75 ha) ([SBRCURnet, 2014](#))

variant	aanlegkosten		beheerkosten	
	per 0,32 ha	per ha	per 0,32 ha	per ha
traditioneel, gemengd stelsel	€ 129.000	€ 403.000	€ 1.000	€ 3.130
traditioneel, verbeterd gescheiden stelsel	€ 122.000	€ 381.000	€ 1.020	€ 3.190
beperkte aanpassing inrichting	€ 103.000	€ 322.000	€ 1.020	€ 3.190
klimatologische verbeteringsmaatregelen	€ 136.000	€ 425.000	€ 2.080	€ 6.500

Kostenraming aanleg en beheer van maatregelen in jaren 50 straat van 110 meter lengte, 1.820 m² dakoppervlak en 1.360 m² wegoppervlak (= 0,32 ha) ([SBRCURnet, 2014](#))

Indicatieve conclusie

Op basis van deze vergelijking volgt de indicatieve conclusie dat ondergrondse waterberging met name interessant is in dichtbebouwde gebieden.

BATEN – VOORDELEN VAN EXTRA WATERBERGING

Voordelen van extra waterberging

Een manier om de baten uit te drukken is in de extra beschikbaar komende afvoer- en bergingscapaciteit: 1 put van 0,5 m doorsnede in Kreftenheye met 2 m drukverschil, levert een afvoercapaciteit op van circa 25 m³/uur. Dit is op te voeren naar 50 m³/uur door het drukverschil met een pomp te verhogen.

In 1 hectare bebouwd gebied, met 50% verharding en de aanname dat alleen water vanaf verhard oppervlak kan worden ingezameld voor ondergrondse waterberging, correspondeert dit met een bui van circa 10 mm/uur, of 10 l/s/ha bebouwd gebied (met 50% verharding). Ter vergelijking: de afvoercapaciteit van een riool naar het oppervlaktewater ligt meestal in de orde van grootte van 30 l/s/ha bebouwd gebied (60 l/s/ha verhard oppervlak).

De regionale watersystemen zijn doorgaans berekend op een 'landelijke afvoer' van 1,5 tot 3 l/s/ha. De stedelijke afvoer is veel groter. Bij hevige neerslag moet het merendeel hiervan tijdelijk worden geborgen. De beperkte bergingscapaciteit van polders of boezem kan met ondergrondse waterberging worden uitgebreid. Deze alternatieve vorm van waterberging heeft een grote capaciteit. Anders dan bij een bergingskelder, waterzak of vijver, zijn de grenzen van de ondergrondse berging niet snel bereikt.

De baten hiervan komen tot uiting in de vorm van vermeden schades en kosten. De voornaamste baten kunnen in twee categorieën worden verdeeld: vermeden wateroverlastschades en vermeden droogteschades.

Daarnaast wordt door de gescheiden afvoer en injectie van water in de ondergrond, veel minder regenwater naar de RWZI afgevoerd, in vergelijking met de afvoer vanuit gemengde rioolstelsels (zie ook afbeelding volgende bladzijde).

Op de volgende twee bladzijden worden met indicatieve berekeningen de effecten op de neerslagafvoer en het optreden van water-op-straat gekwantificeerd.

BATEN – AFVOER VAN NEERSLAG

Indicatieve berekening effecten afvoer neerslag

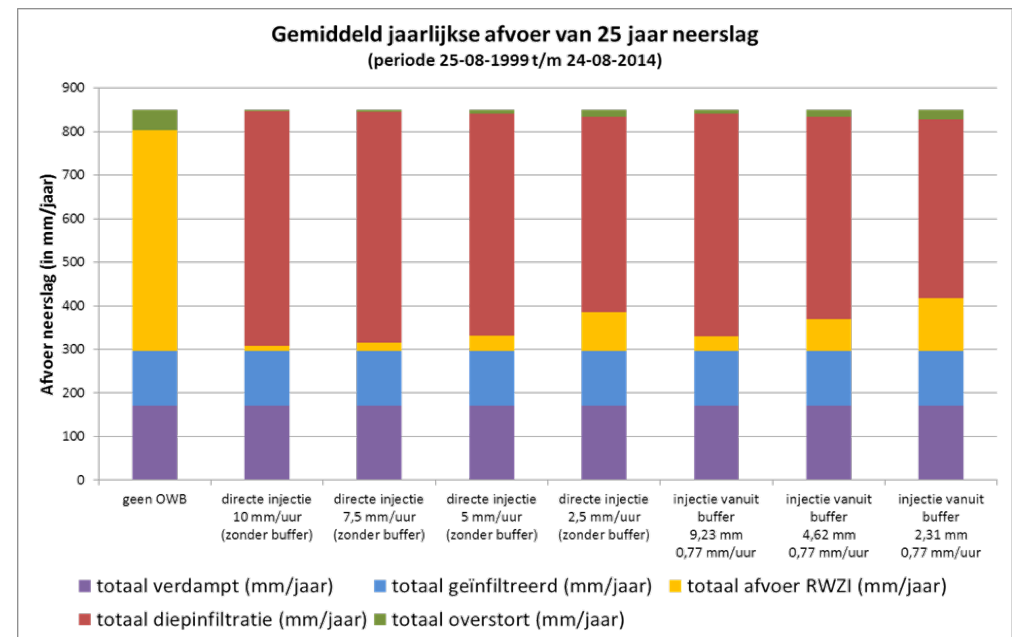
Om het effect van ondergrondse waterberging op de afvoer van neerslag te kwantificeren, zijn indicatieve berekeningen gemaakt voor de concepten 1 en 2, met verschillende bergings- en putcapaciteiten. Voor deze indicatieve (balans)berekeningen is uitgegaan van:

- neerslag in de periode van 25 augustus 2009 tot en met 24 augustus 2014 (25 jaar, uursommen, De Bilt);
- een gemengd rioolstelsel met 9 mm berging;
- 0,7 mm/uur regenwaterafvoer naar de RWZI;
- 15 mm/uur overstortcapaciteit. Deze overstortcapaciteit gaat uit van een 'gehinderde afvoer' (verdrongen overlaat) door een verhoogd oppervlaktewaterpeil.

De maximale verdamping en infiltratie per uur zijn zo gekozen, dat over de hele periode gemiddeld 20% van de (bruto) neerslag die op verhard oppervlak valt, verdampt en gemiddeld 15% infiltreert (overeenkomstig NHI 2011). Op basis hiervan bedraagt de maximale verdamping 0,19 mm/uur en de maximale infiltratie 0,20 mm/uur in de beschouwde 25 jaar.

De varianten van concept 1 (directe injectie) zijn met een putcapaciteit van 10 tot 2,5 mm/uur. Concept 2 (injectie vanuit buffer) varieert met een buffer van 9,23 tot 2,31 mm (600 tot 150 m³ voor 6,5 ha verhard oppervlak), met elk een putcapaciteit van 0,77 mm/uur (50 m³ voor 6,5 ha verhard oppervlak).

De gemiddelde jaarneerslag in deze periode is 850 mm. De grafiek laat zien hoe neerslag op verharding wordt afgevoerd, via verdamping of infiltratie, naar RWZI of via riooloverstorten op oppervlaktewater (bij overstortcapaciteit van 15 mm/uur). Hieruit volgt dat een groot deel van de neerslag die anders naar de RWZI zou worden afgevoerd, aan de ondergrondse waterberging kan worden toegevoegd. Het aandeel overstortwater neemt 50% tot 90% af t.o.v. een gemengd stelsel. Hierbij is er vanuit gegaan dat vervuild afstromend regenwater voldoende behandeld kan worden en ook via de put is te injecteren.



BATEN – VERMINDERING WATER OP STRAAT

Indicatieve berekening effecten water op straat

Om het effect van ondergrondse waterberging op het optreden van 'water op straat' te kwantificeren, zijn ook indicatieve berekeningen gemaakt voor de concepten 1 en 2, met verschillende bergings- en putcapaciteiten. Voor deze indicatieve berekeningen is wederom uitgegaan van:

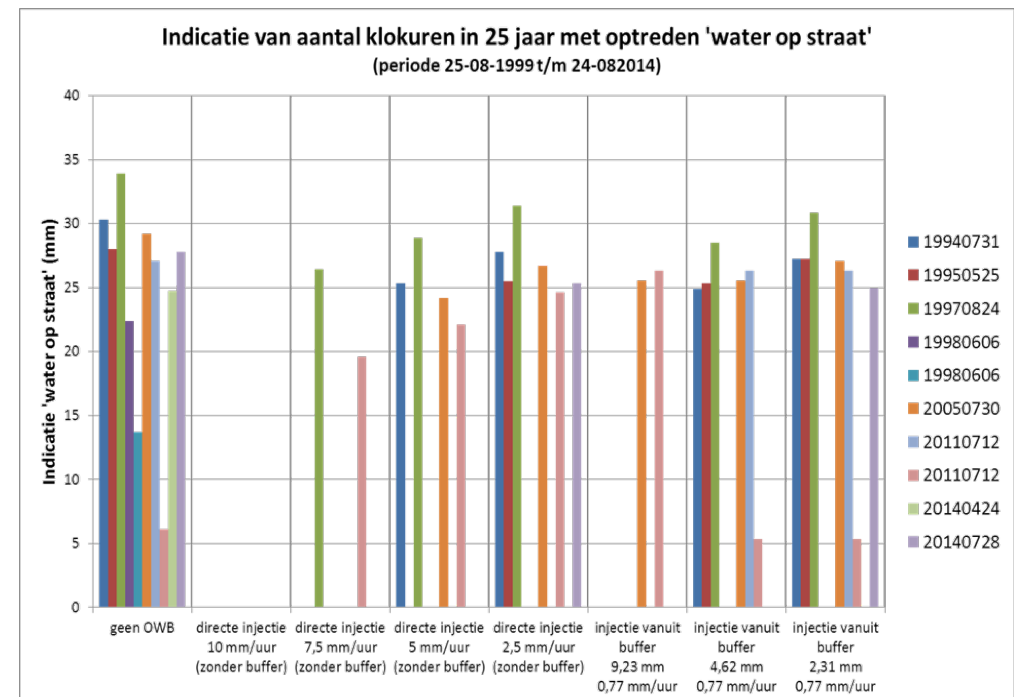
- neerslag in de periode van 25 augustus 2009 tot en met 24 augustus 2014 (25 jaar, uursommen, De Bilt);
- een gemengd rioelstelsel met 9 mm berging;
- 0,7 mm/uur regenwaterafvoer naar de RWZI;
- 15 mm/uur overstortcapaciteit. Deze overstortcapaciteit gaat uit van een 'gehinderde afvoer' door een verhoogd oppervlaktewaterpeil.

De grafiek geeft aan hoeveel mm's neerslag 'water op straat' (op y-as) is berekend tijdens een klokuur op de betreffende dagen (zie legenda rechts in grafiek). Dit kunnen ook meerdere klokuren op dezelfde dag zijn, die bij dezelfde neerslaggebeurtenis horen.

De grafiek geeft, op basis van een eenvoudige (waterbalans)-berekening, een indicatief beeld voor een onderlinge vergelijking van de effecten van de verschillende concepten. Bij een gemengd stelsel zonder ondergrondse waterberging worden in een periode van 25 jaar in totaal 10 klokuren met 'water op straat' berekend, variërend van 6 tot 34 mm. Dit is de referentie voor het te verwachten effect van ondergrondse waterberging.

De grafiek laat zien in welke mate het aantal klokuren en de omvang van het berekende 'water op straat' afnemen bij directe injectie (zonder buffer), bij een toenemende injectiecapaciteit tot 2,5 mm/uur. Bij een directe injectie met 10 mm/uur kan alle 'water op straat' in de beschouwde van 25 jaar worden voorkomen.

Bij injectie vanuit een buffer kan met een veel kleinere injectiecapaciteit worden volstaan, om hetzelfde effect op het optreden van 'water op straat' te bereiken als bij directe injectie (zonder buffer).



BATEN – EXTRA BRON (ZOET)WATERVOORZIENING

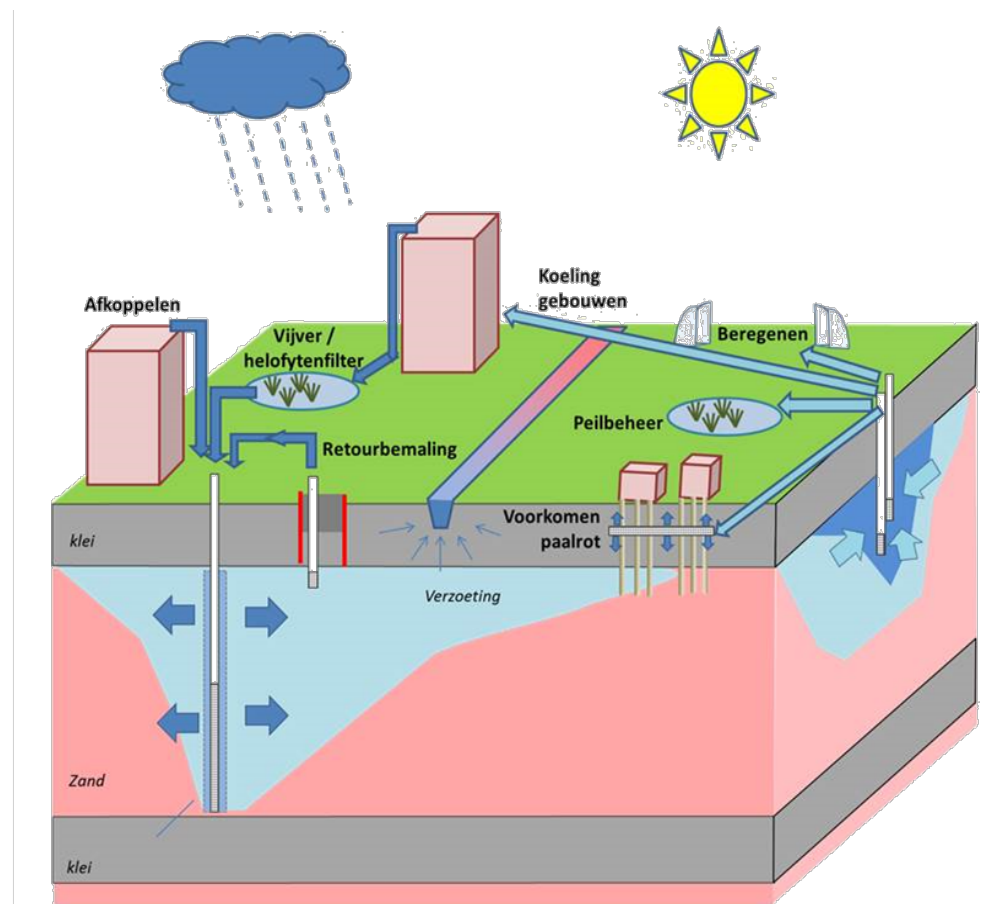
Extra bron zoetwatervoorziening

Het zoete water in de ondergrond kan worden teruggewonnen en gebruikt voor diverse doeleinden. De baten hiervan zijn niet in algemeen geldende kengetallen uit te drukken. Het gaat om gebruiksdoelen die voornamelijk optreden in perioden met neerslagtekort (zomerhalfjaar), zoals:

- bewaking van de oppervlaktewaterkwaliteit door verversing/doorspoeling van (geïsoleerde) waterpartijen;
- peilbeheer door aanvulling van (geïsoleerde) waterpartijen;
- peilbeheer van grondwater en daarmee beperken van grondwaterstands dalingen en samenhangende negatieve effecten zoals funderingsschade, verschildzetting en verdroging van groen;
- beregening van groen en sportvelden (ook kunstgras);
- watervoorziening van functies in ommeland, buiten de stad;
- besparingen op wateraanvoer van elders.

In de publicatie 'Schades door watertekorten en -overschotten in stedelijk gebied' ([Deltares, 2012](#)) is onderzocht wat de droogteschade aan groen is in het stedelijk gebied. Er zal zeker schade optreden onder een droger klimaat, maar er zijn nog geen duidelijke kengetallen beschikbaar, die de vermoedelijk grote omvang van deze schadepost voor het stedelijk gebied onderbouwen. Ondergrondse waterberging kan bijdragen aan vermindering van deze schadepost.

De afbeelding rechts schetst mogelijke functionele doelen voor via OWB teruggewonnen water.



Ondergrondse waterberging en enkele mogelijke functionele doelen van teruggewonnen water

BATEN – WATERBALANS DOOR HET JAAR HEEN

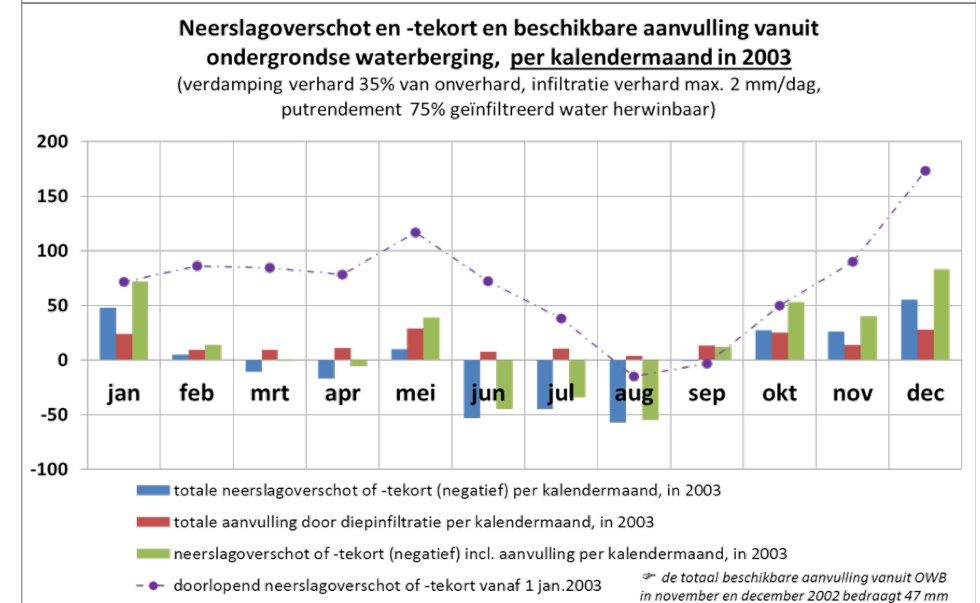
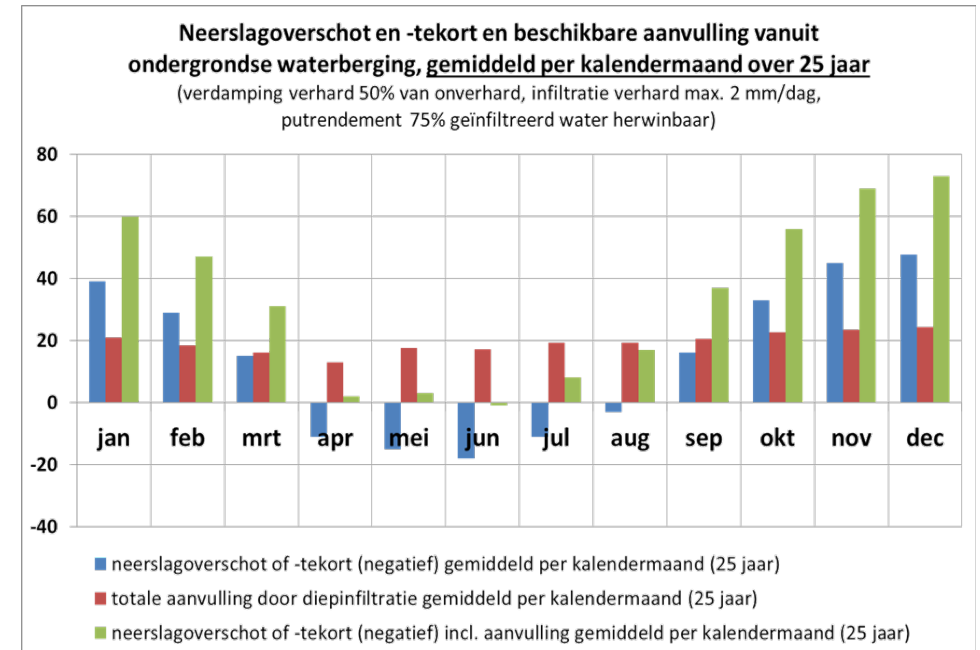
Waterbalans

Voor een indicatie van het verloop van watervraag en -aanbod door het jaar heen is er eenvoudige waterbalans-berekening gemaakt over 25 jaar, waarbij is uitgegaan van:

- infiltratie van alle neerslag op onverhard oppervlak;
- maximaal 2 mm/dag infiltratie op verhard oppervlak;
- verdamping van onverhard oppervlak (50% totaal oppervlak) gelijk aan referentiegewasverdamping;
- verdamping van verhard oppervlak gelijk aan 35% van de referentiegewasverdamping;
- aanvulling OWB bij concept 2 met buffer van 2,3 mm en putcapaciteit van 0,77 mm/uur;
- en een putrendement van 75% (25% geïnjecteerde water niet herwinbaar voor benutting).

Met de infiltratie van afstromende neerslag van verhard oppervlak en opslag in de ondergrond kan gemiddeld per kalendermaand het neerslagtekort grotendeels worden aangevuld. Met de opslag van het overschot in de maanden voorafgaand aan de zomermaanden is voldoende zoetwater beschikbaar om het tekort te overbruggen (afbeeldig rechtsboven).

Voor het droge jaar 2003 is de waterbalans op maandbasis weergegeven in de afbeelding rechtsonder. Met aanvulling vanuit de OWB (putrendement 75%) ontstaat alleen in augustus een watertekort. Met de wateropslag van november en december in het voorgaande jaar kan ook in dat neerslagtekort worden voorzien.



In welke mate kan ondergrondse waterberging in de stad bijdragen aan het beperken van de kans op wateroverlast bij piekbuien?

Uit deze verkenning naar de (technische) mogelijkheden blijkt dat OWB potentie heeft om een significante bijdrage te leveren aan het beperken van de kans op wateroverlast in stedelijk gebied. Ter indicatie van de te verwachten bijdrage zijn waterbalans-berekeningen uitgevoerd, waarbij is uitgegaan van een 'typische wateroverlast situatie'. Hieruit blijkt dat een rioolstelsel dat is ontworpen op voldoende berging en afvoer voor neerslag met herhalingstijd van 1 x per 2 jaar, gecombineerd met ondergrondse waterberging, neerslag kan verwerken met een herhalingstijd van 1 x per 10 jaar.

De extra hoeveelheid afstromende neerslag bij een 1 x per 10 jaar bui kan in de ondergrond worden geïnjecteerd. Vanaf het verharde deel van 1 hectare stedelijk gebied (50% verhard) is dit circa 50 m³ water. Om deze hoeveelheid water voldoende snel in de ondergrond te injecteren, is het volgende nodig:

- inzameling neerslag op verhard oppervlak (daken en overig verhard);
- 1^e watervoerend pakket (Kreftenheye), met pakketdikte van 20 meter, onder holocene deklaag;
- 2 meter druk(stijghoogte)verschil, er is dan geen pomp nodig;
- twee verticale putten met een diameter van 0,5 meter;
- volkomen putfilter, dus 20 meter lang.

Voor de verkenning zijn 3 basisconcepten beschouwd, namelijk:

- directe ondergrondse waterberging (concept 1);
- ondergrondse waterberging via bassin (concept 2);
- ondergrondse waterberging met aanvullende waterbronnen (concept 3).

Deze concepten zijn allen schaalbaar in omvang/aantal.

De capaciteit van OWB kan worden opgevoerd door:

- onder een hogere druk te injecteren (pompen);
- meer putten te gebruiken;
- ook in het 2^e watervoerend pakket te infiltreren;
- een horizontale put te gebruiken zodat een langer filter kan worden toegepast;
- water tijdelijk te bergen in een bassin aan het maaiveld.

Als de capaciteit wordt verhoogd, ontstaat de mogelijkheid om niet alleen de piek af te scheren, maar ook een groter deel van de bui in de ondergrond te bergen. Ook water van elders, of oppervlaktewater kan dan worden geborgen zodat de belasting daarvan, en van het daarop aangesloten pompsysteem, wordt verminderd.

In welke mate kan ondergrondse waterberging een bijdrage leveren aan de watervoorziening van de stad?

Tijdens droge perioden heeft een stad behoefte aan water voor:

- handhaving van oppervlaktewaterpeil en grondwaterpeil;
- handhaving oppervlaktewaterkwaliteit (verversing, doorspoeling);
- handhaving bodemvochtgehalte (gietwater openbaar groen, sportvelden);
- tegengaan van hittestress.

Gerekend in m³ of mm's is in theorie een deel van het neerslagtekort in een stad te compenseren met water dat uit ondergrondse waterberging wordt teruggewonnen. Knelpunt is echter de distributie van dit water. Voor veel gebruiksdoeleinden is een infrastructuur noodzakelijk, bijvoorbeeld een leidingennetwerk.

Als een distributienetwerk ontbreekt, niet kan worden aangelegd of de middelen hiervoor onvoldoende zijn, resteert de optie om te zoeken naar gebruiksfuncties nabij een put, bijvoorbeeld:

- verversing van een bassin voor handhaving waterkwaliteit en peil;
- watervoorziening van specifieke functies via eenvoudige leidingen, zoals sportvelden, tuinbouw of stadslandbouw.

Als er wel een distributienetwerk is of wordt aangelegd, ontstaat de mogelijkheid om met het teruggewonnen water een bijdrage te leveren aan het voorkomen van een in potentie omvangrijke schadepost: schades aan gebouwen en infrastructuur door verschilzettingen en het verzakken van funderingen vanwege langdurige grondwateronderlast.



CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN – CONCLUSIES

In welke vorm heeft ondergrondse waterberging potentie en welke kosten zijn daarmee gemoeid?

Ondergrondse waterberging biedt toegevoegde waarde bij het beperken van de kans op wateroverlast met name op locaties in Laag Nederland:

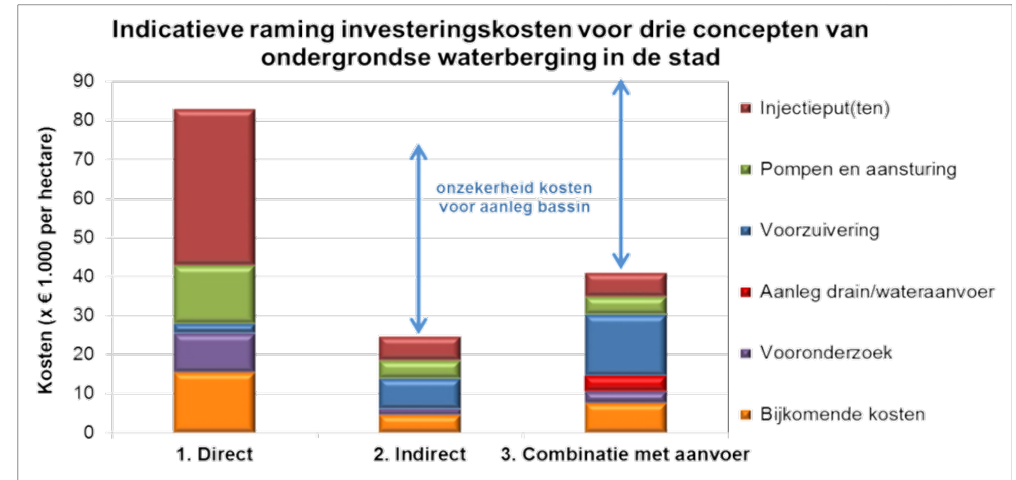
- met een hoge verstedelijkingsgraad;
- met weinig ruimte op het maaiveld voor waterbeheersmaatregelen;
- met weinig bergingsvermogen in het freatisch grondwater en/of oppervlaktewater;
- waar gezocht wordt naar besparingen op dure bergingsconstructies of versimpeling van constructies;
- waar de aanleg van ondergrondse waterberging kan worden meegenomen in een traject van afkoppelen van regenwater.

Voor inzameling van te infiltreren water gaat de voorkeur uit naar:

- locaties met een groot dakoppervlak;
- locaties waar bestaande afvoer van regenwater op uitkomt, bijvoorbeeld regenwateruitlaten bij een waterpartij;
- locaties waar enige vorm van berging mogelijk is, zodat het rendement van de ondergrondse waterberging kan worden verhoogd.

De voorzuivering van te infiltreren water is essentieel, zowel om putverstopping te voorkomen als voor het borgen van de grondwaterkwaliteit.

De investeringskosten zijn afhankelijk van het concept dat wordt gekozen, zie onderstaande figuur.



De investeringskosten liggen tussen circa € 25.000 en € 80.000 per hectare. De jaarlijkse exploitatiekosten bedragen € 2.500 tot € 8.800 per hectare (excl. rente en afschrijving). Deze raming is excl. afkoppelkosten, om het regenwater bij de putten te brengen en excl. grondkosten voor het bassin bij concepten 2 en 3. De afkoppelkosten kunnen 200 tot 400 k€ per hectare bedragen.

Vanuit kostenoptiek is OWB een aantrekkelijke optie om mee te nemen in de keuze van waterbeheersmaatregelen voor dichtbebouwde gebieden. Andere maatregelen in deze gebieden, zoals vergroting van de afvoercapaciteit van het riool en herinrichting van het maaiveld, kosten ten minste zoveel.

Op basis van de uitgevoerde verkenning naar de (on) mogelijkheden van ondergrondse waterberging in de stad, worden de volgende aanbevelingen gedaan.

Haalbaarheidsonderzoek en uitvoering van voorbeeldprojecten

Uit de verkenning blijkt dat ondergrondse waterberging vanuit oogpunt van baten en kosten met name een aantrekkelijke optie is in dichtbebouwde gebieden en/of sterk verstedelijkte polders. Dit wordt geconcludeerd op basis van algemene uitgangspunten en typische kenmerken (niet locatie-specifiek).

Aanbevolen wordt om één of meerdere pilots te definiëren, de haalbaarheid hiervan te onderzoeken en deze als voorbeeldprojecten in de praktijk te brengen.

Mogelijke onderzoekstappen zijn:

- bepalen van potentieel geschikte locaties in stedelijk gebied of stadsranden en keuze van voorkeurslocatie(s) op basis van o.a. fysieke omgevingskenmerken, wateropgave of -behoefte, belanghebbenden, risico's, juridische aspecten;
- uitwerken van put(ten)concept voor voorkeurslocatie(s): bepalen technische uitgangspunten (zoals type put, capaciteit, voorzuivering en putmanagement), kosten aanleg en beheer, baten, vergunningverlening, monitoring put en omgeving, financiering;
- vervolg voorbereiding en realisatie.

Kennisvragen

Naast de aanbeveling voor het uitvoeren van één of meerdere pilots, volgen uit de verkenning enkele kennisvragen, waarvoor verder onderzoek is gewenst. Deze vragen betreffen onder meer (niet uitputtend):

- In welke mate is [afstromend regenwater](#) en water uit andere, aanvullende bronnen (bijv. oppervlaktewater of effluent) geschikt voor ondergrondse waterberging, wat zijn de effecten op de put en grondwaterkwaliteit?
- Wat zijn geschikte (compacte) [zuiveringstechnieken](#), hoe zijn deze kosteneffectief inpasbaar in de stad?
- Wat is de invloed van de verblijftijd in het 1^e watervoerend pakket op de kwaliteit van het geïnjecteerde water en op de terugwincapaciteit?
- Wat is de invloed van [opgelost methaan](#) in het watervoerend pakket op de kwaliteit van het geïnjecteerde water en op de terugwincapaciteit, hoe kan hier zo nodig op worden geanticipeerd?

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie. Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' - de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft - om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.