

A network diagram consisting of various sized circles connected by thin lines, set against a blue background. The circles are arranged in a non-uniform, interconnected pattern, with some larger circles and many smaller ones.

KWR 2022.049 | April 2022

# **Circulair Waterconcept Nieuwegein City West**



# Samenwerkingspartners



Nieuwegein



HOOGHEEMRAADSCHAP  
DE STICHTSE  
RIJNLANDEN



# Rapport

## Circulair Waterconcept Nieuwegein City West

KWR 2022.049 | April 2022

### Opdrachtnummer

403249

### Projectmanager

Joep van den Broeke

### Opdrachtgever

TKI Topsector Water & Maritiem

### Auteur(s)

Joep van den Broeke, Marcel Paalman, Henk Krajenbrink, Teun van Dooren, Maria Lousada Ferreira (KWR), Wilrik Kok, Mary McGregor, Hamid Mojab (Field Factors), Sybrand Metz (Desah), Laurens van Miltenburg, Claudia Agudela-Vera, Marco van Hedel (Gemeente Nieuwegein)

### Kwaliteitsborger(s)

Emile Cornelissen, Sija Stofberg, Kees van Leeuwen

### Verantwoording

Deze activiteit is gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken en Klimaat met PPS-financiering uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) en uit bijdrages van de samenwerkingspartners.

### Keywords

stedelijk waterconcept, hergebruik, groene daken, circulariteit, ondergrondse waterberging, ASR, decentrale zuivering

Jaar van publicatie  
2022

### Meer informatie

dr. Joep van den Broeke  
T +31 30 60 69 658  
E joep.van.den.broeke@kwrwater.nl

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

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

# KWR

April 2022 ©

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

# Samenvatting

Water in de stad is onmisbaar. Burgers hebben water nodig voor consumptie en persoonlijke hygiëne. Maar ook draagt de aanwezigheid van water en groen bij aan het welbevinden van de mens in de stad. Voor stedelijk groen (plantsoen, groene daken) is ook water nodig, in het bijzonder in droge perioden. Door de dichte bebouwing en het hoge percentage verhard oppervlak zijn steden kwetsbaar voor de effecten van klimaatverandering: wateroverlast door piekbuien, hittestress en droogte spelen daarbij een rol. De gemeente Nieuwegein gaat de komende jaren de binnenstad (her)ontwikkelen en heeft daarbij de ambitie om de meest duurzame binnenstad van Nederland te worden. Er worden in de binnenstad (Nieuwegein City) ca. 1650 woningen gerealiseerd en daarbij is een belangrijke opgave het inpassen van 'water' en in het verlengde hiervan 'groen' op een manier die bijdraagt aan het realiseren van deze duurzaamheidsambitie. Vanwege de centrale rol van water is in het TKI-project Water Circulair Nieuwegein een samenwerking gestart tussen alle relevante waterketenpartners en inhoudelijk experts om vanaf het vroegste stadium in het proces van de gebiedsontwikkeling, concept en praktijk op elkaar af te stemmen. Betrokken zijn de partners: Gemeente Nieuwegein, Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden (HDSR), Vitens, Provincie Utrecht, Mitros, Bridges, Fresch Real Estate, KWR Water Research Institute, Field Factors, Rietland, Desah en Drain Products Europe. Gezamenlijk hebben zij een waterconcept bestaande uit drie oplossingen ontwikkeld, en daarvoor drie toepassingsscenario's voor het plangebied opgesteld, welke in dit rapport worden beschreven.

De doestellingen voor het waterconcept zijn drieledig: het voorkomen van wateroverlast tijdens piekbuien, het reduceren van hittestress en het verhogen van de belevingswaarde door het implementeren van een (blauw)groene omgeving, en het reduceren van het drinkwatergebruik in het gebied door het gebruik van hemelwater en hergebruik van afvalwater om in de waterbehoefte te voorzien.

De eerste oplossing (blauw) richt zich op het opvangen, vasthouden en gebruiken van hemelwater. Hierbij wordt ingezet op het gebruik van blauwgroene daken en hoge buffercapaciteit in het openbare gebied waarmee piekbuien opgevangen kunnen worden zonder dat er wateroverlast ontstaat, en waarmee tegelijkertijd water wordt vastgehouden voor opslag en hergebruik. Het opgevangen water wordt op natuurlijk wijze gezuiverd en in een ondergrondse waterberging opgeslagen. Vanuit de berging kan het water voor gebruik voor irrigatie van groen en toiletspoeling worden ingezet.

In de oplossing voor lichtgrijs water wordt het douche- en badwater uit de twee bouwblokken die als eerste worden ontwikkeld gescheiden en via een natuurlijke zuivering behandeld. Dit maakt het water geschikt voor opslag in de ondergrondse waterberging, en daarmee wordt de hoeveelheid water voor (her)gebruik meer dan verdubbeld.

In de oplossing voor grijs+zwart water wordt decentrale behandeling van al het afvalwater uit de later te ontwikkelen bouwblokken beschreven. In dit verregaande scenario wordt grijs afvalwater in een actief slib reactor en zwart water in een vergister behandeld, gevolgd door nazuivering middels nanofiltratie. Naast gezuiverd water wordt hierbij biogas en warmte geproduceerd. Om het proces zo efficiënt mogelijk te laten verlopen worden vacuümtoiletten toegepast in de woningen.

Vervolgens zijn op basis van deze oplossingen de scenario's +, ++ en +++ beschreven. In scenario+ wordt de oplossing Blauw in het gehele plangebied gerealiseerd. Hierdoor wordt wateroverlast tijdens piekbuien voorkomen, en wordt voldoende water beschikbaar gemaakt om de gehele vraag voor openbaar en particulier groen te voorzien en om het merendeel van het water voor toiletspoeling te leveren. Ook levert dit scenario via de gecreëerde blauw-groen infrastructuur een bijdrage aan het tegengaan van hittestress en het verhogen van de

belevingswaarde van het plangebied. In scenario++ wordt hieraan de implementatie van de oplossing voor lichtgrijs water toegevoegd. Hierdoor wordt de potentiële besparing van drinkwater verder vergroot doordat capaciteit wordt gecreëerd om al het spoelwater voor de toiletten te leveren en ontstaat er ruimte voor verdere laagwaardige toepassingen. Als voorbeeld kan hier gedacht worden aan water voor wasmachines. Het laatste scenario +++ is ingrijpender omdat het naast voorzieningen voor waterzuivering in de openbare ruimte ook aangepaste binneninstallaties, in de vorm van vacuümtoiletten en keukenvermalers voor GFT vraagt. Door deze oplossing wordt via decentrale afvalwaterzuivering binnen het plangebied naast een aanvullend volume water ook energie (biogas en warmte) geproduceerd en vermindert de hoeveelheid af te voeren GFT. Er is momenteel geen bestemming voor het op deze wijze geproduceerde water. De betrokken waterketenpartners, Gemeente Nieuwegein, HDSR en Vitens, hebben echter interesse getoond in het verkennen van de kansen voor decentrale sanitatie en de mogelijkheid om het geproduceerde water via een aanvullende decentrale zuivering tot drinkwaterkwaliteit op te werken.

De uitgevoerde studie heeft geresulteerd in een waterconcept. Alvorens dit in de praktijk geïmplementeerd kan worden, dienen nog een aantal zaken verder geconcretiseerd te worden. De belangrijkste punten zijn het uitvoeren van (geo)hydrologisch onderzoek ten behoeve van het ontwerp van de ondergrondse waterberging, het uitwerken van de technische en gezondheidstechnische risico's, het uitwerken van onderhoud en beheer. Omdat de ontwikkelde concepten en de beschreven scenario's zijn gebaseerd op voorlopige informatie over de ontwikkelingen in het plangebied dient bij groen licht op één of meerdere van de concepten uit dit concept een definitief ontwerp opgesteld te worden waarin ook integratie plaatsvindt met de geplande infrastructuur (o.a. groen, energie en verkeer).

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>Inhoud</b>	<b>6</b>
<b>Verklarende woordenlijst en definities</b>	<b>7</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>8</b>
1.1 Aanleiding	8
1.2 Doelstelling	8
1.3 Samenwerkingsverband	9
1.4 Leeswijzer	9
<b>2 Stedelijk Waterconcept</b>	<b>10</b>
<b>3 Plangebied en Wateropgaven</b>	<b>14</b>
3.1 Het plangebied	14
3.2 Waterstromen in het plangebied	16
3.3 Uitgangspunten ontwikkeling stedelijk waterconcept	19
<b>4 Design voor Nieuwegein City West</b>	<b>21</b>
4.1 Watervraag	21
4.2 Oplossingen voor opvangen, zuiveren en opslag	22
4.2.1 Ondergrondse waterberging	22
4.2.2 Blauw	24
4.2.3 Lichtgrijs	27
4.2.4 Grijs + Zwart	29
4.3 Scenario's	33
4.3.1 Scenario +	34
4.3.2 Scenario ++	37
4.3.3 Scenario +++	39
4.3.4 Vergelijk van de scenario's	41
<b>5 Conclusies en vervolgstappen</b>	<b>43</b>
<b>6 Bronnen</b>	<b>46</b>
<b>Bijlagen</b>	
I Kentallen en randvoorwaarden plangebied	48
II Grafische samenvatting Ruimtelijk Concept Circulair Water	51
III Ondergrondse Waterberging City Nieuwegein	92
IV Decentrale sanitatie – concept studie Nieuwegein City West	125
V Bijlage - Concepten	146

# Verklarende woordenlijst en definities

## Verklarende woordenlijst

DIT	drainage – irrigatie - transport
GFT	groen-, fruit- en tuinafval
HDSR	Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden
HWA	Hemelwaterafvoer
OLAND	Oxygen-Limited Autotrophic Nitrification-Denitrification
OWB	ondergrondse waterberging
PVE	programma van eisen
RZWI	rioolwaterzuiveringsinstallatie
TKI	Topconsortium voor Kennis en Innovatie
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
WKO	warmte-koude opslag

## Definities

In dit rapport worden de volgende definities gebruikt:

- Zwart water: het afvalwater afkomstig uit toiletten.
- Grijs water: het overige afvalwater, dit heeft een lagere vervuilingsgraad dan zwart water
- Lichtgrijs water: alleen de minst vervuilde stromen afkomstig uit bad en douche.
  
- Hemelwater: water uit neerslag zoals regen, sneeuw en hagel
- Grondwater: het water dat zich tussen de vaste deeltjes in de ondergrond (zand, klei, silt, veen, leem) bevindt. Deze ruimten tussen bodemdeeltjes heten poriën. Wanneer poriën zijn gevuld met water, heet dit grondwater. Het hoogste niveau van het grondwater wordt de grondwaterspiegel genoemd. Boven de grondwaterspiegel komt ook water voor. Op deze diepte zijn echter niet alle poriën gevuld met water, dit water heet bodemvocht.
- Drinkwater: water dat voldoet aan de eisen die de waterleidingwet hieraan stelt en dat geschikt is voor menselijke consumptie. Drinkwater wordt geleverd door een drinkwaterbedrijf. In het plangebied Nieuwegein is Vitens het drinkwaterbedrijf verantwoordelijk voor de levering van drinkwater.
  
- Laagwaardige toepassing: water gebruikt voor beregening openbaar en particulier groen en toiletspoeling
- Hoogwaardige toepassing: water gebruikt voor menselijke consumptie en toepassingen die met consumptie of hygiëne te maken hebben, zoals douche, bad, keuken. Voor hoogwaardige toepassing dient drinkwater gebruikt te worden.



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Water in de stad is onmisbaar. Burgers hebben water nodig voor consumptie en persoonlijke hygiëne. Maar ook draagt de aanwezigheid van water en groen bij aan het welbevinden van de mens in de stad. Voor stedelijk groen (plantsoen, groene daken) is ook water nodig, in het bijzonder in droge perioden. Door de dichte bebouwing en het hoge percentage verhard oppervlak zijn steden kwetsbaar voor de effecten van klimaatverandering: wateroverlast door piekbuien, hittestress en droogte spelen daarbij een rol. Daarnaast worden steden geconfronteerd met een groei van hun inwoneraantal en de daaraan gekoppelde bouwopgave. Zeker in binnensteden zorgt dit voor verdere verdichting van de bebouwing. Dit resulteert in toenemende druk op het water en groen in de stad. Dit terwijl waterelementen en groen juist een belangrijke rol te vervullen hebben in een klimaatrobuuste duurzame en leefbare stedelijke omgeving.

De gemeente Nieuwegein gaat de komende jaren de binnenstad (her)ontwikkelen. Daarbij heeft de gemeenteraad de ambitie uitgesproken (Koersdocument 2017) om de meest duurzame binnenstad van Nederland te willen worden. Er worden in de binnenstad (Nieuwegein City) ca. 1650 woningen gerealiseerd. Een belangrijke vraag is hoe 'water' en in het verlengde hiervan 'groen' kunnen bijdragen aan het realiseren van deze duurzaamheidsambitie.

De duurzame, circulaire, gebiedsontwikkeling zoals voorzien in Nieuwegein, sluit aan bij verschillende initiatieven in binnen- en buitenland waarbij hergebruik van water en grondstoffen en het sluiten van kringlopen wordt vormgegeven. Voorbeelden van dergelijke ontwikkelingen zijn Superlocal (Kerkrade), Brainport Smart District (Helmond), Noorderhoek (Sneek), Vliegkamp Valkenburg (Katwijk), Schoonschip (Amsterdam). Het specifieke geval van Nieuwegein is uniek doordat de ontwikkeling, waarbij een integratie van groen, water en energie wordt nagestreefd, plaatsvindt in een hoogstedelijke omgeving waar ruimte schaars is en er gewerkt dient te worden binnen de bestaande kaders van aanwezige bebouwing en infrastructuur. Er is geen pasklaar recept voor deze opgave.

## 1.2 Doelstelling

Het watersysteem in de stad is over het algemeen vrij 'lineair' ingericht. Regenwater wordt snel afgevoerd om wateroverlast te beperken. Het drinkwater wordt eenmalig gebruikt, waarna het als één verontreinigde afvalwaterstroom wordt afgevoerd naar de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI). Bij het ontwerp van een nieuw stedelijk gebied wordt water vaak (te) laat meegenomen in het proces, waardoor er kansen worden gemist. Het TKI-project *Water Circulair Nieuwegein* beoogt het ontwikkelen van een nieuwe werkwijze die water in de stedelijke ontwikkeling als integraal onderdeel meeneemt bij het designproces. Hierin worden de mogelijkheden om watervraag (groen, beperking hittestress, huishoudelijk gebruik) en aanbod (regenwater, drinkwater) te matchen door onder andere waterberging op verschillende niveaus (dak, straat, ondergrond) en waterhergebruik (regenwater, grijs, zwart) door lokale zuivering en berging, onderzocht. De doelstelling is om op basis hiervan, in een interactief proces met de relevante stakeholders en technologiebedrijven, verschillende waterscenario's voor Nieuwegein City te ontwikkelen.

### 1.3 Samenwerkingsverband

Omdat de in dit project ontwikkelde scenario's een stap zijn in de daadwerkelijke herontwikkeling van de binnenstad van Nieuwegein, zijn alle ketenpartners aangesloten in dit project. Dit opdat vanaf het vroegste stadium concept en praktijk op elkaar afgestemd kunnen worden, en ook de ideeën en wensen van deze partijen rondom een duurzaam watersysteem meegenomen kunnen worden.

De verantwoordelijkheid voor ontwerp, realisatie en beheer van de (stedelijke) waterketen ligt niet bij één specifieke partij. De gemeente speelt een belangrijke rol doordat ze richtinggevend is in de gebiedsontwikkeling en de ambities die hierin gerealiseerd dienen te worden. De gemeente schept daarmee de kaders en randvoorwaarden. Voor de vertaling van de visie op de gebiedsontwikkeling zijn projectontwikkelaars cruciaal omdat zij, samen met bouwbedrijven, zorg dragen voor de realisatie van de nieuwbouw en infrastructuur in het gebied.

Daarnaast heeft de gemeente uitvoerende taken op het gebied van water, zoals de afvoer van afvalwater, hemelwater en overtollig grondwater, voor zover dat afkomstig is van openbaar terrein en van particulier terrein. De ontwikkeling van scenario's voor een duurzame waterhuishouding in hoogstedelijk gebied raakt mogelijk ook aan taken en bevoegdheden van andere partijen (drinkwaterbedrijf, waterschap, provincie) omdat de waterketen lokaal (deels) anders ingericht zou kunnen worden.

Het consortium bestaande uit de Gemeente Nieuwegein, Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden (HDSR) en de Provincie Utrecht, KWR en de bij de gebiedsontwikkeling betrokken projectontwikkelaars Mitros, Bridges en Fresch Real Estate, is verder aangevuld met bedrijven met praktijkervaring rondom elementen die in een duurzaam waterconcept belangrijke bouwstenen vormen: regenwatermanagement, waterberging, zuivering regenwater, (decentrale) zuivering van grijs en zwart water. De betrokken technologieleveranciers zijn Field Factors, Rietland, Desah en Drain Products Europe.

Gedurende het project is ook drinkwaterbedrijf Vitens aangesloten bij het project voor de ontwikkeling van het waterconcept voor Nieuwegein City, waarmee alle spelers in de waterketen vertegenwoordigd zijn.

### 1.4 Leeswijzer

In dit rapport zijn de belangrijkste bevindingen uit het TKI-project Water Circulair Nieuwegein beschreven. Hoofdstuk 2 beschrijft de scope en belangrijkste concepten van de stedelijke watercyclus. In hoofdstuk 3 worden de karakteristieken en uitgangspunten voor de onderzochte casus Nieuwegein City beschreven. In hoofdstuk 4 worden verschillende toepasbare concepten geschetst en hoe deze op het plangebied toegepast kunnen worden. Het rapport wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 5). Daarnaast zijn in aparte bijlagen onderliggende informatie en studies beschikbaar gemaakt. Deze omvatten kentallen en randvoorwaarden voor het plangebied (bijlage I), het ruimtelijke concept circulair water (bijlage II), ondergrondse waterberging City Nieuwegein (bijlage III), decentrale zuivering van grijs en zwart water (bijlage IV), concepten en definities (bijlage V).

## 2 Stedelijk Waterconcept

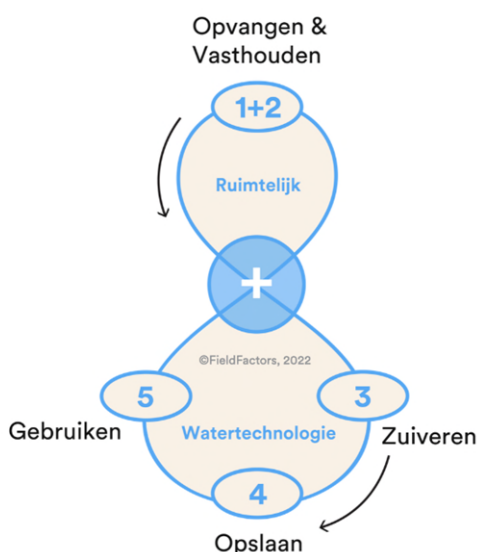
Voor het nemen van duurzame en klimaat-adaptieve maatregelen in stedelijk gebied is water een belangrijke component. Enerzijds kunnen door klimaatverandering perioden voorkomen van veel water (intense buien). Voorkómen moet worden dat dit resulteert in wateroverlast. Anderzijds kan in de zomer sprake zijn van watertekort, wat resulteert in te weinig water voor openbaar groen, groene daken en tuinen en kan bijdragen aan hittestress. De zomer van 2018 resulteerde bijvoorbeeld in een hoger drinkwatergebruik (140%) ten opzichte van een normaal jaar, onder andere omdat meer water nodig was om tuinen te besproeien, zwembaden te vullen en te douchen.

In Nederland valt gedurende het gehele jaar voldoende neerslag om te voldoen aan de jaarlijkse watervraag voor stedelijk groen en eventuele waterelementen. Een water- en energiebalans die is opgesteld voor City Nieuwegein (van der Roest et al, 2019) bevestigt dit. Wel is er een mismatch in de watervraag en aanbod in de tijd. Zo is de vraag naar water hoog in de zomerperiode, terwijl in de winterperiode meestal sprake is van een overschot. Om deze mismatch in tijd te overbruggen moet het 'teveel' aan water worden opgeslagen om in perioden van 'te kort' te voorzien.

In duurzaam stedelijk waterbeheer wordt ingezet op het realiseren van deze balans. Centraal hierin staat het opvangen, vasthouden en opslaan van regenwater, wat daardoor beschikbaar wordt voor gebruik. Maar er zijn nog aanvullende waterstromen die in aanmerking komen voor hergebruik en andere potentiële toepassingen voor dit hergebruikte water dan alleen de groenvoorziening. Hieronder worden de belangrijkste elementen en concepten geïntroduceerd die in het vervolg van deze studie zijn gebruikt.

### Verkleinen van de stedelijke watercyclus

Centraal staat het concept van het verkleinen van de watercyclus, waarbij zoveel mogelijk water in het gebied blijft om watervraag en aanbod te matchen en waarbij zoveel mogelijk water verantwoord wordt hergebruikt. In het stedelijke watercyclus lemniscaat (Figuur 2-1) onderscheiden we vijf elementaire functies: opvangen, vasthouden, zuiveren, opslaan en (her)gebruiken.



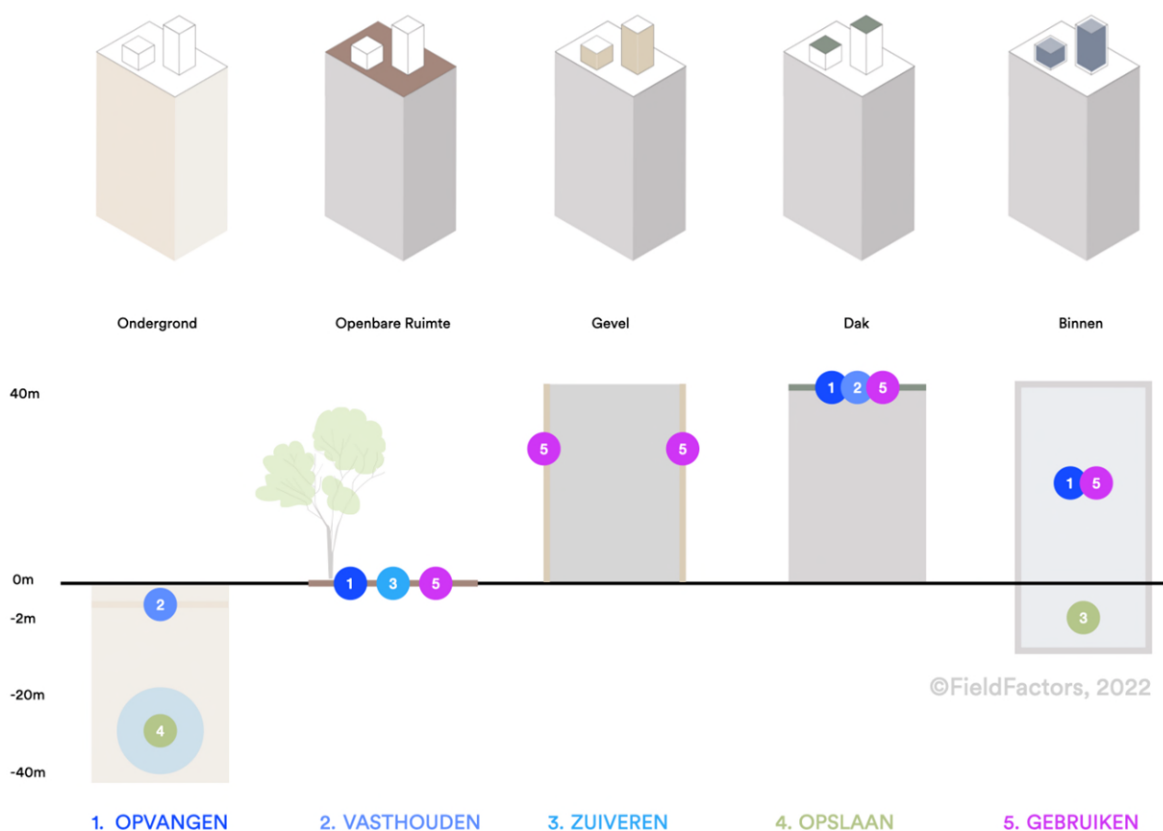
Figuur 2-1. Het stedelijke watercyclus lemniscaat.

In dit concept gaan we bij opvangen uit van het zoveel mogelijk scheiden van stromen van verschillende kwaliteit bij de bron. Hierbij wordt naast hemelwater (Blauw water) ook gekeken naar hergebruik van afvalwaterstromen uit huishoudens. Daarin worden onderscheiden:

- Zwart water: het afvalwater afkomstig uit toiletten.
- Grijs water: het overige afvalwater, dit heeft een lagere vervuilingsgraad dan zwart water
- Lichtgrijs water: alleen de minst vervuilde stromen afkomstig uit bad en douche.

Het scheiden van vervuilde en minder vervuilde afvalstromen maakt het mogelijk om doelgerichter te zuiveren en vergroot de mogelijkheden van gedeeltelijk lokaal hergebruik. Door gezuiverd hemelwater en/of afvalwater in te zetten als vervanger van drinkwater voor laagwaardige toepassingen (zoals toiletspoeling) kan een reductie van het drinkwatergebruik worden bereikt.

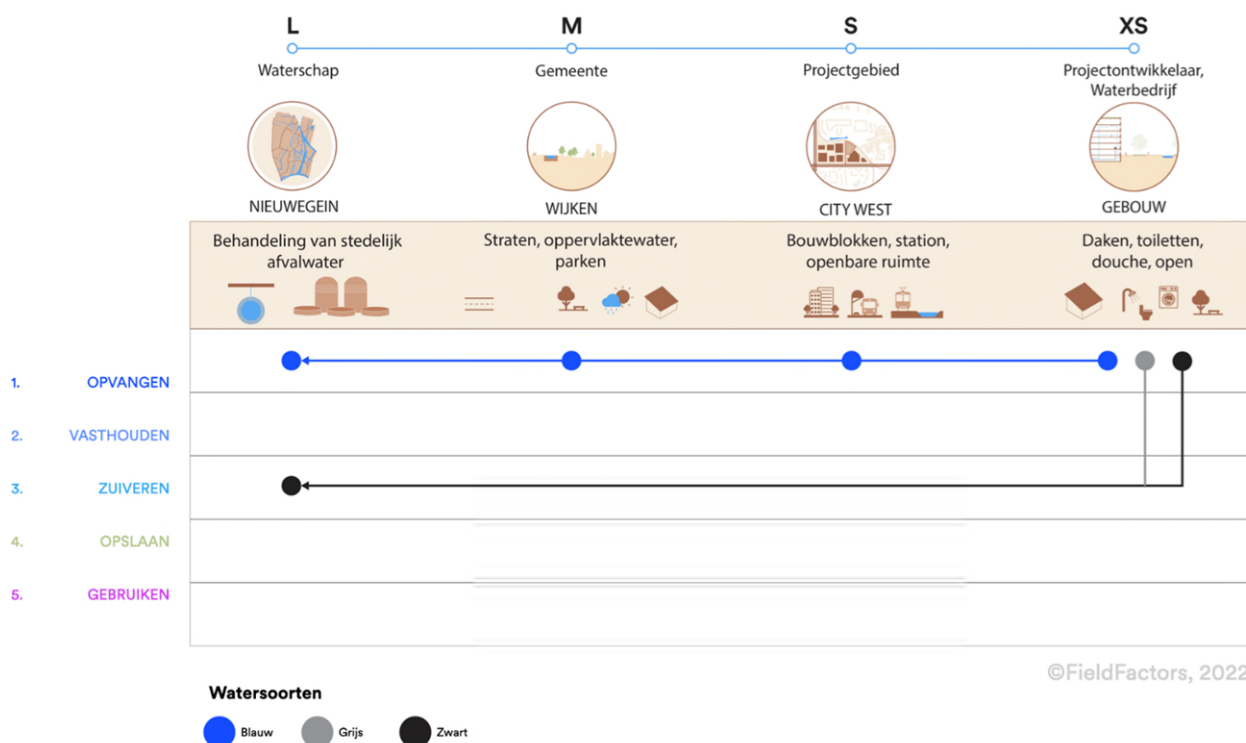
In Figuur 2-2 zijn de functies uit de stedelijke watercyclus lemniscaat weergegeven in de ruimtelijke domeinen die ter beschikking staan in de hoogstedelijke omgeving. Technologische oplossingen maar ook natuurlijke oplossingen-, bijvoorbeeld voor opvangen, vasthouden, zuivering en/of hergebruik dienen in deze domeinen ingepast te worden. Daarbij wordt zoveel mogelijk gestreefd naar groene ruimtelijke oplossingen die de kwaliteit van het klimaat in de stad (verkoeling, hoge waardering) vergroten.



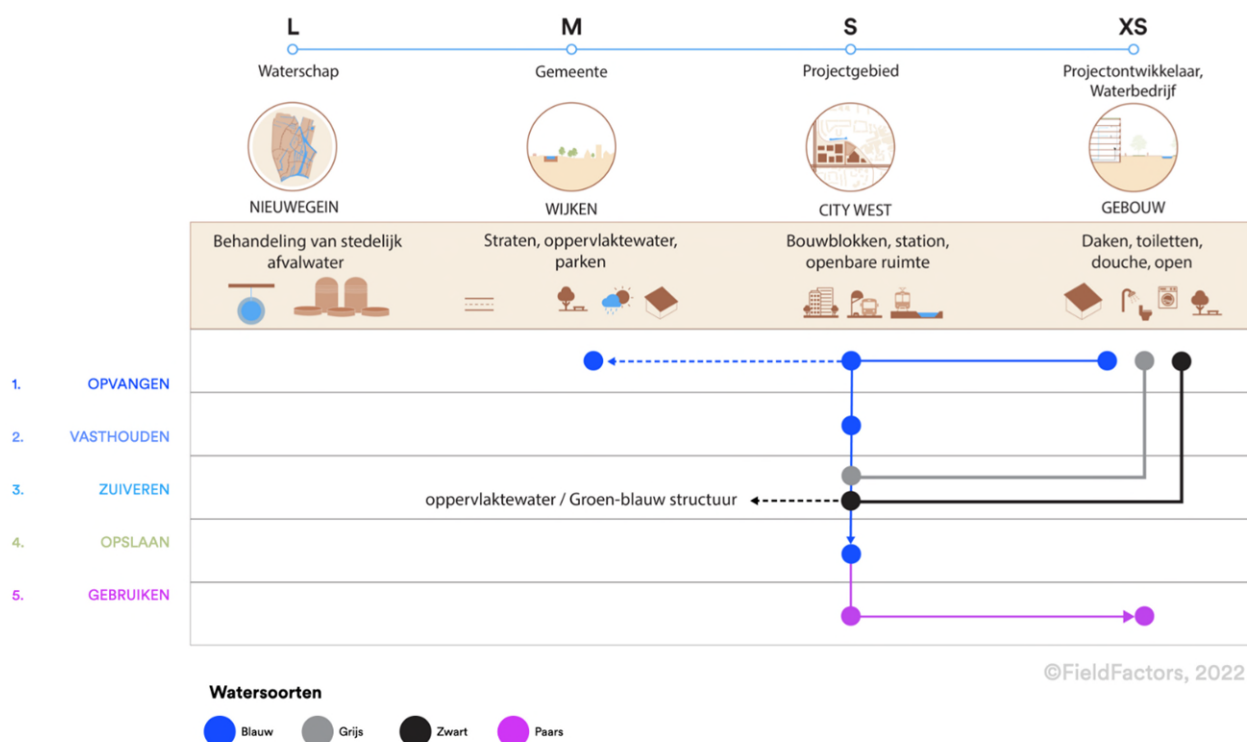
Figuur 2-2. De vijf waterfuncties uit de stedelijke watercyclus weergegeven in de ruimtelijke domeinen waar ze toegepast kunnen worden.

### Van lineair naar circulair

Het verkleinen van de watercyclus vereist een herziening van het huidige lineaire model van het watersysteem. Door water zoveel mogelijk in het gebied vast te houden en her te gebruiken vindt er noodzakelijkerwijze een verschuiving van functies plaats van grootschalige centrale organisatie naar kleinschaliger lokale organisatie. Dit geldt voor alle drie de waterstromen die we in de stedelijke watercyclus onderscheiden: blauw, grijs en zwart. Voor ieder van deze waterstromen kan worden gekozen voor opvang, zuivering en opslag op locatie. In Figuur 2-3 en Figuur 2-4 wordt de verschuiving in schaal en locatie weergegeven voor de stap van een (traditioneel) lineair naar een volledig circulair systeem. De schaalniveaus die worden onderscheiden zijn weergegeven als volgt: L – stad, M – wijk, S – projectgebied, XS - gebouwen en bijbehorende openbare ruimte (bouwblokken). Daarbij wordt opgemerkt dat de figuren de ruimtelijke locatie van activiteiten en de verschuiving daarin weergeven en niet de verantwoordelijkheden voor beheer en onderhoud van de benodigde (technische) componenten.



Figuur 2-3. Verbindingen tussen lokale en centrale onderdelen in het traditionele lineaire stedelijke watersysteem.



©FieldFactors, 2022

Figuur 2-4. Verbindingen tussen lokale en centrale onderdelen in het volledig circulaire stedelijke watersysteem.

De situaties zoals weergegeven in Figuur 2-3 en Figuur 2-4 laten een toenemende samenhang tussen de verschillende onderdelen van het watersysteem zien. Wanneer water versterkt lokaal (her)gebruikt gaat worden, nemen de afhankelijkheden tussen de functies, en daarmee ook de daarvoor verantwoordelijke partijen, toe.<sup>1</sup> In het vervolg van dit document worden oplossingen voor opvang, zuivering en hergebruik voor de blauwe, (licht)grijze en zwarte waterstromen beschreven die in het kader van het project uitgewerkt zijn voor het plangebied in Nieuwegein City. Lokaal gezuiverd water dat vervolgens lokaal voor laagwaardig gebruik wordt toegepast wordt aangeduid als paars.

<sup>1</sup> Zie voor voorbeelden hiervan bijvoorbeeld: (1) Hofman-Caris, C.H.M., Stofberg, S.F., van Alphen, H.J., de Waal, L. & van Huijgevoort, M.H.J. (2019). VO Radicaal nieuwe bronnen voor drinkwater. KWR Water Research Institute, rapport BTO2019.019. (2) Hofman-Caris, C.H.M. & de Waal, L. (2018). Regenwater als bron voor drinkwater; productiekosten en milieuaspecten. KWR Water Research Institute, rapport BTO2018.028.

## 3 Plangebied en Wateropgaven

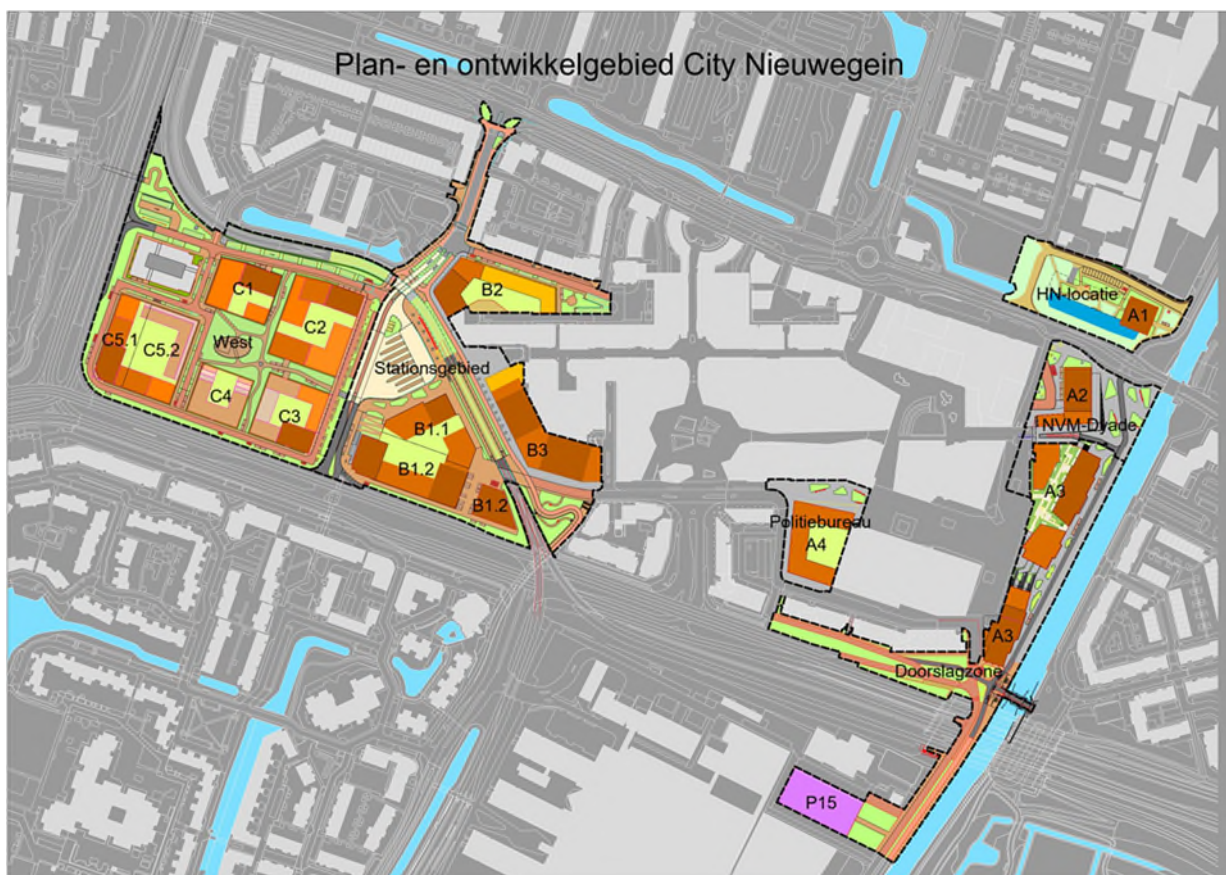
Het stedelijk waterconcept waarin het verkleinen van de watercyclus centraal staat, wordt nader uitgewerkt voor de specifieke casus Nieuwegein City West. Dit gebied is een onderdeel van het (her)ontwikkelingstraject voor de binnenstad van Nieuwegein. In dit hoofdstuk wordt het plangebied beschreven en de uitgangspunten en randvoorwaarden die gelden voor de ontwikkeling van het plangebied.

### 3.1 Het plangebied

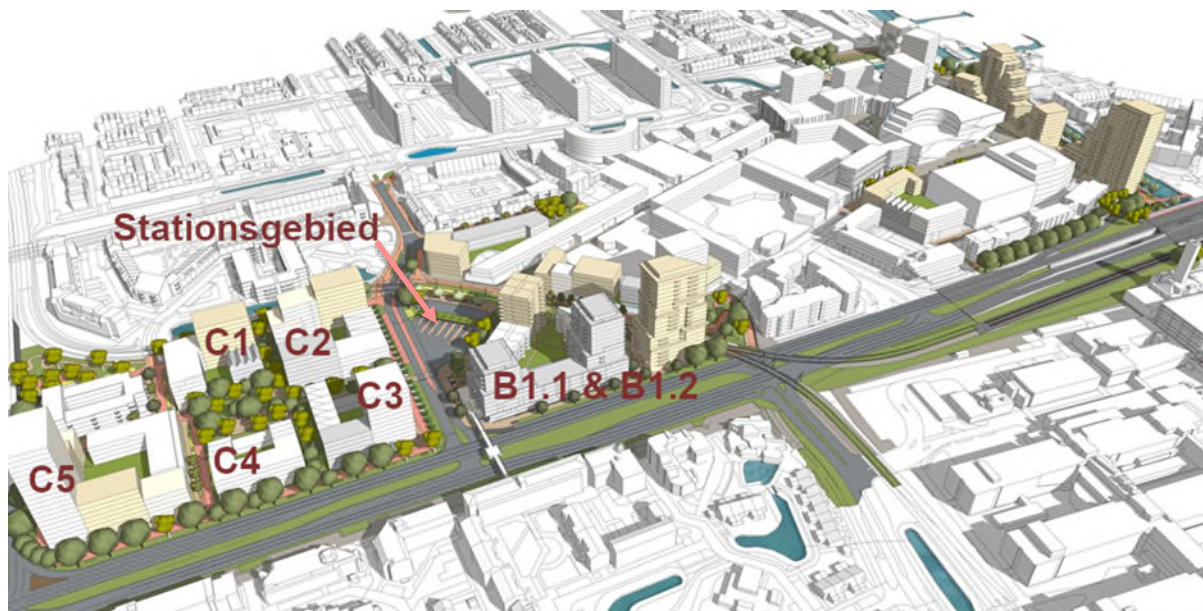
Het plangebied beslaat het deel van City Nieuwegein ten westen van het tramspoor (Figuur 3-1). Het gebied heeft een totale oppervlakte van ongeveer 4,8 ha (48.000 m<sup>2</sup>) en omvat zes verschillende ontwikkellocaties (Figuur 3-2), die een verschillende planning kennen ten aanzien van de ontwikkeling, hieronder weergegeven in volgorde van ontwikkeling:

1. Stationsgebied, inclusief busstation en bouwblokken B 1.1, B 1.2
2. Zadelstede (Blok C5)
3. Luifelstede (Blok C1 t/m C4)

Het plangebied omvat ook het bestaande gebouw aan de Borgstede/ Hagestede, gelegen ten noorden van Blok C5, en het openbaar gebied rondom de bouwblokken. Omdat aan deze bestaande bouw watertechnische aanpassingen zijn voorzien, wordt deze in het vervolg van deze studie behandeld als openbaar gebied (verhard oppervlak). In het stationsgebied zijn aanvullend bouwblokken B2 en B3 gepland, dit is voorsnog geen onderdeel van het stedelijk waterconcept en verder niet meegenomen in deze studie.



Figuur 3-1. Overzicht van het projectgebied (bron gemeente Nieuwegein)



Figuur 3-2. Schematische weergave van bouwblokken in het projectgebied.

De (geschatte) kentallen van de verschillende ontwikkellocaties en het openbare gebied binnen het projectgebied, voor zover bekend, zijn weergegeven in Tabel 3-1. Daarbij is voor de bouwblokken het geschatte oppervlak van daken plus binnentuin weergegeven.



Tabel 3-1. Kengetallen van de ontwikkellocaties in het projectgebied. Voor het berekenen van het aantal bewoners is een woningbezetting van 1,8 personen per woning aangehouden.

Ontwikkellocatie	Aantal Woningen	Aantal bewoners	Oppervlakte (m <sup>2</sup> )	Start ontwikkeling	Ontwikkeld door
Busstation	-	-	7000	2022	
Blok B1.1 & B1.2	467	841	6274	2022	Bridges R.E., Fresch R.E.
Blok C5	213	383	4550	2023	Gemeente Nieuwegein, Mitros, nog te kiezen projectontwikkelaar
Blokken C1 - C4	600 (500-700)*	1080 (900-1200)*	10406		Nog te bepalen
Openbaar gebied – verhard (incl. Borgstede)	-	-	11.007		
Openbaar gebied – onverhard (groen)	-	-	7200***		
Oppervlakte water**	-	-	1000		
<b>Totaal</b>	<b>1280</b>	<b>2304</b>	<b>48000****</b>		

\* voor onderdeel West zijn nog geen definitieve aantallen bekend, daarom wordt ook een bandbreedte aangegeven

\*\* geen onderdeel van het plangebied, maar ligt direct aan de noordzijde en is mogelijk te benutten in het waterconcept

\*\*\* uitgaande van 15% onverhard/groen in het totale plangebied zoals beschreven in Voorbereidende Duurzaamheidsvisie City Nieuwegein

\*\*\*\* inclusief bestaande bouw en openbare ruimte, maar exclusief het oppervlaktewater

## 3.2 Waterstromen in het plangebied

Om de wateropgave in het plangebied in beeld te krijgen, is informatie nodig over de verschillende waterstromen in het gebied. In deze paragraaf worden de waterstromen gekwantificeerd aan de hand van een aantal uitgangspunten. Daarbij is uitgegaan van een situatie zonder implementatie van het waterconcept (*business as usual*), waarbij het water op de gebruikelijke wijze wordt afgevoerd (riolering, al dan niet een gescheiden stelsel) en niet wordt hergebruikt. Hierbij is al wel rekening gehouden met de nieuwe inrichting van het plangebied, zoals de te realiseren bouwblokken en 15% van onverhard oppervlak in de openbare ruimte.

Op basis van de kentallen in Tabel 3-1 en Tabel 3-2 is berekend welke hoeveelheden water per onderdeel van het plangebied in een gemiddeld jaar vrijkomen (Tabel 3-3), en is op basis daarvan een waterbalans opgesteld die is weergegeven in een Sankey diagram (Figuur 2-1

Figuur 3-3). Voor het berekenen van de waterstromen is gebruik gemaakt van de huidige gemiddelde situatie, waarbij een bandbreedte wordt aangegeven op basis van droge en natte jaren.

Tabel 3-2. Kentallen gebruikt bij het opstellen van de waterbalans.

Omschrijving	Kengetal (eenheid)
<b>Hydro/meteo*</b>	
Gemiddelde jaarlijkse neerslagsom (De Bilt, 1991-2020)	855 mm
Neerslagsom in droog jaar (De Bilt, 2018)	582 mm
Maximale jaarlijkse neerslagsom (De Bilt, 1991-2020)	1240 mm
Gemiddelde referentieverdamping (De Bilt, 1991-2020)	582 mm
Referentieverdamping in droog jaar (De Bilt, 2018)	671 mm
<b>Blauwgroene daken</b>	
Bergingseis bouwblokken	50 mm
Infiltratie-eis (= afvoer naar openbaar gebied)	20 mm
Percentage groen op binnentuinen/daktuinen**	50%
Percentage groen op blauwgroene daken West (C1 t/m C5)**	80%
Percentage groen op blauwgroene daken blok B1**	55%
Afstroming van blauwgroen dak als percentage van jaarlijkse neerslag***	32%
Afstroming van reguliere daken als percentage van jaarlijkse neerslag	80%
Afstroming van bestrating als percentage van jaarlijkse neerslag	50%
<b>Afvalwater (Vewin, 2017)****</b>	
Watergebruik huishoudens	119,2 L/persoon/dag
Zwart water (toilet + eten/drinken)	40,4 L/persoon/dag*****
Lichtgrijs water (douche + bad)	51,1 L/persoon/dag
Grijs water (alle stromen behalve zwart)	78,9 L/persoon/dag
<b>Watervraag groen</b>	
Bomen in volle grond, neerslagtekort per groeiseizoen (180 dagen)	600 mm
Gazon in volle grond, neerslagtekort per groeiseizoen (Van der Roest et al., 2018)	56 mm
Aanname oppervlak groene gevel	6000 m <sup>2</sup>
Groene gevel, gemiddelde jaarlijkse watervraag	700 mm

\*: Gedownload voor KNMI-station De Bilt: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens>

\*\* : daarbij wordt aangenomen dat de gekozen oplossing voor vasthouden van water (kratjesbuffer, zie bijlage V) op de daken en in de binnentuinen alleen onder het groene gedeelte is geplaatst.

\*\*\*: hierin zijn verdamping alsmede de waterbehoefte van het groen verdisconteerd – er is derhalve geen separate watervraag voor irrigatie van de blauw-groene daken en de binnentuinen/daktuinen.

\*\*\*\*: Hierbij wordt aangenomen dat de hoeveelheid afvalwater uit huishoudens gelijk is aan de hoeveelheid geleverd drinkwater (IN = UIT).

\*\*\*\*\*: waarvan 35L/persoon/dag voor toiletspoeling

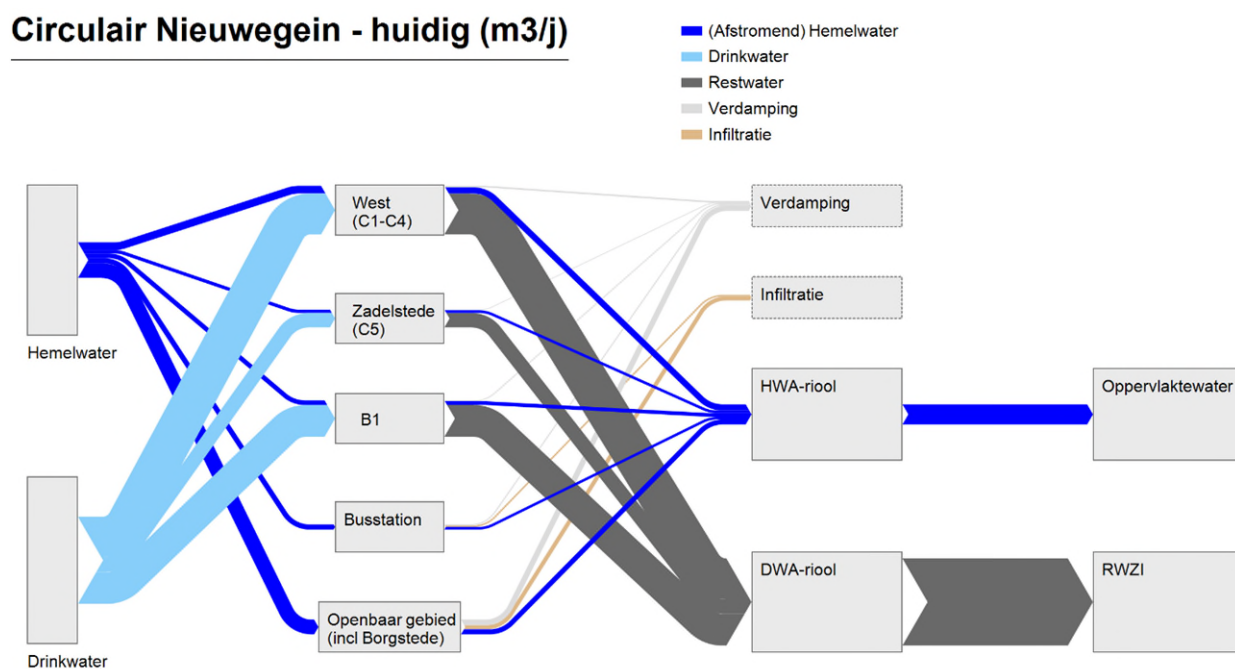
Tabel 3-3. Waterstromen voor het plangebied City Nieuwegein in een gemiddelde situatie. De getallen tussen haakjes voor hemelwater geven de bandbreedte aan voor een zeer droog en zeer nat jaar.

Onderdeel plangebied	Neerslag (m <sup>3</sup> /jaar)	Verdamping* (m <sup>3</sup> /jaar)	Infiltratie** (m <sup>3</sup> /jaar)	Afstromend hemelwater (m <sup>3</sup> /jaar)	Afvalwater (m <sup>3</sup> /jaar)
Blok B1	5360 (3650 – 7780)	1070 (730 – 1560)	-	4290 (2920 – 6220)	36.600
West (C1 t/m C4)	8900 (6060 – 12.900)	1780 (1210 – 2580)	-	7120 (4850 – 10.320)	47.030
Zadelstede (C5)	3890 (2650 – 5640)	780 (530 – 1130)	-	3110 (2120 – 4510)	16.700
Borgstede	1340 (910 – 1940)	270 (180 – 390)	-	1070 (730 – 1550)	-
Busstation	4280 (2910 – 6200)	860 (580 – 1240)	1800 (1220 – 2600)	2990 (2040 - 4340)	-
Openbaar gebied – overig verhard	11.120 (7570 – 16.130)	2220 (1510 – 3230)	2820 (1920 – 4100)	4710 (3200 - 6820)	-
Openbaar gebied – onverhard/bomen	6160 (4190 – 8930)	4190 (4190 – 4830)	1970 (0 – 4740)	-	-
<b>Totaal</b>	<b>41.040</b> (27.940 – 59.520)	<b>11.170</b> (9580 – 14.310)	<b>6580</b> (3140 – 11.440)	<b>23.290</b> (15.850 – 33.780)	<b>100.330</b>

\* Voor verhard oppervlak is dit enkel verdamping van nat oppervlak (20% van neerslagsom); voor onverhard oppervlak betreft het bodemverdamping. Schatting gebaseerd op Zuurbier & van Dooren (2019), STOWA (2015).

\*\* Voor verhard oppervlak zijn geen betrouwbare kentallen beschikbaar m.b.t. infiltratie. Hier is gerekend met 30% infiltratie bij verhard oppervlak. Voor onverhard oppervlak betreft het neerslagoverschot.

### Circulair Nieuwegein - huidig (m3/j)



Figuur 3-3. Sankey-diagram van de waterstromen op jaarbasis in de huidige situatie, zonder toepassing van een circulair waterconcept.

Het overzicht van de waterstromen in het plangebied laat zien dat van de 41.000 m<sup>3</sup> hemelwater die in een gemiddeld jaar valt in het plangebied, ongeveer 60% (circa 23.000 m<sup>3</sup>) tot afstroming komt, en dat de overige 40% via verdamping en infiltratie uit het gebied onttrokken wordt en niet beschikbaar is voor hergebruik. Uit het overzicht volgt verder dat de hoeveelheid afvalwater die wordt geproduceerd in het gebied, gemiddeld een factor 3 groter is dan de hoeveelheid hemelwater.

### 3.3 Uitgangspunten ontwikkeling stedelijk waterconcept

Voor de uitwerking van een passend stedelijk waterconcept zijn door de gemeente Nieuwegein kaders gesteld. Voor de kaderstelling is het 'Convenant Klimaatadaptief Bouwen' gebruikt (Provincie Zuid Holland, 2019). Het programma van eisen (PVE) uit dit convenant is door de gemeente Nieuwegein overgenomen als minimumvereiste en vastgelegd in de door de gemeenteraad vastgestelde Duurzaamheidsvisie City Nieuwegein. Voor de ontwikkeling van het stedelijk waterconcept zoals hier uitgevoerd vormen de volgende onderdelen uit het PVE de belangrijkste kaders<sup>2</sup>:

- N1: Een groot deel van de neerslag (50 mm) van een korte hevige bui (1/100 jaar, 70 mm in 1 uur) op privaat terrein wordt op dit terrein opgevangen en vertraagd afgevoerd. De berging is niet eerder dan in 24 uur leeg en is in maximaal 48 uur weer beschikbaar, of wordt gestuurd.
- N2: In het plangebied treedt geen schade op aan bebouwing en voorzieningen bij extreem hevige neerslag (1/250 jaar, 90 mm/u).
- D1: De inrichting van het plangebied is afgestemd op de verwachte grondwaterstanden en de zoetwaterbeschikbaarheid tijdens droogte.

Opgemerkt wordt dat het PVE alleen betrekking heeft op hoe om te gaan met regenwater, maar niet ingaat op de drinkwater/afvalwaterketen. Omdat de ambities van de Gemeente Nieuwegein verder gaan dan deze minimum eisen, zijn de volgende aanvullende doelstellingen geformuleerd:

- Circulariteit. Water blijft zoveel mogelijk in het gebied om watervraag en aanbod te koppelen, waarbij water zoveel mogelijk verantwoord wordt hergebruikt. Tegelijkertijd kan worden bespaard op de hoeveelheid aan te voeren water;
- Klimaatadaptatie. Het systeem kan extreme neerslag verwerken en draagt in droge perioden bij aan de waterbehoefte van stedelijk groen en andere functies. Tegelijkertijd levert het een bijdrage in het terugdringen van hittestress in stedelijk gebied. Door water te bufferen (op daken, in de bodem en diepe ondergrond, in de openbare ruimte en in gebouwen) ontstaat de optie om in tijden van waterschaarste water beschikbaar te hebben voor de stad (groene daken, groene binnenterreinen, openbaar stedelijk groen, etc.);
- Zichtbaarheid. Water draagt sterk bij aan de beleving van de bewoners en vergroot de kwaliteit van het verblijfsklimaat in de stad (verkoeling, hoge waardering);
- Decentrale zuivering. Waterstromen worden waar mogelijk gescheiden en afzonderlijk verwerkt, waarbij de stroom water naar de RWZI zoveel mogelijk wordt beperkt.
- Groen. Er wordt een duurzame groene leefomgeving gerealiseerd. De watertechnologische oplossingen zijn randvoorwaardelijk voor een blauwgroene inrichting met een minimale aanspraak op drinkwatergebruik.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Overige onderdelen uit het PVE, zoals kaders voor hitte, bodemdaling, biodiversiteit en overstroming vormden geen onderdeel van deze studie

<sup>3</sup> Het ontwikkelen van een concept voor de groenvoorziening is expliciet geen onderdeel van het TKI-project Water Circulair Nieuwegein.

Bij deze doelstellingen gelden als continue randvoorwaarden (Gemeente Nieuwegein, 2021)<sup>4</sup>:

- Veilig ontwerp:
  - De toegepaste oplossing mag niet leiden tot ziektegevallen of schadelijke emissies naar de omgeving
  - Bedrijfszekerheid – storingen leiden niet tot gevaarlijke situaties voor volksgezondheid of leefomgeving
  - Kwetsbare installatieonderdelen zijn niet toegankelijk voor derden. Geen bovengrondse technische installaties.
- Duurzaamheid
  - Het geïmplementeerde watersysteem is duurzamer dan conventionele waterzuivering
- Maatschappelijke aanvaardbaarheid:
  - Acceptatie door bewoners dient goed te zijn. Er worden geen speciale eisen gesteld t.a.v. het gedrag van de burgers. De oplossingen veroorzaken zo min mogelijk overlast (geur, geluid).
- Ruimtelijke inpasbaarheid
  - Alle systemen dienen goed ruimtelijk inpasbaar te zijn. Nieuwegein City West wordt een hoogstedelijke wijk waar de ruimte (zeer) schaars is. Waar mogelijk worden functies van blauw en groen gecombineerd en geen technische installaties in het openbare gebied geplaatst.
  - De gemeente geeft de voorkeur aan een gebied zonder open watersystemen.
  - In het plangebied is een warmte-koude-opslag (WKO) voorzien. Ondergrondse onderdelen van het waterconcept dienen gezamenlijk met deze WKO inpasbaar te zijn.
- Wet- en regelgeving
  - Gekozen wordt voor een watersysteem dat vergunbaar is.

Op basis van bovenstaande doelstellingen en kaders zijn de volgende regels opgesteld die onder alle voorwaarden gelden in de ontwikkelde concepten (no-regret maatregelen):

- In de te ontwikkelen bouwblokken worden grijs en zwart water aan de bron gescheiden en separaat afgevoerd. Door deze scheiding wordt de mogelijkheid gecreëerd om de stromen gescheiden te behandelen.
- Er is geen contact mogelijk met afvalwaterstromen. Deze bevinden zich in het openbare gebied ondergronds.
- Alleen voor lichtgrijs water kan overwogen worden een natuurlijke zuivering te gebruiken. Andere vormen van afvalwater (grijs, zwart) worden ofwel decentraal met technische zuivering behandeld of naar de RWZI afgevoerd.
- Gebruik van ondergrondse waterberging voor tijdelijke opslag van water bestemd voor (her)gebruik. Naast het in balans brengen van watervraag en -aanbod fungeert deze ook als een natuurlijke zuivering. Deze wordt zo ontworpen dat er sprake is van voldoende verblijftijd om microbiel veilig water te kunnen onttrekken.
- Er wordt een ringleiding aangelegd voorzien van een vrij verval riolering van voldoende dimensionering om te kunnen dienen als terugval optie in geval (een van de) decentrale zuiveringen onvoldoende functioneert.
- Er wordt een aansluiting op het centrale drinkwaternet van Vitens voorzien van voldoende capaciteit om in geval van drinkwatervoorziening. Er is een back-up. Mocht blijken dat er ongewenst risico voor de waterkwaliteit ontstaat, dan wordt teruggevallen op het back-up systeem en zal er voor de toepassingen drinkwater worden gebruikt.

Uitgaande van de in dit hoofdstuk genoemde kentallen alsmede de benoemde kaders en randvoorwaarden is een waterconcept uitgewerkt dat is toegesneden op het te ontwikkelen gebied. Dit wordt in hoofdstuk 4 gepresenteerd.

---

<sup>4</sup> In het afwegingskader van de Gemeente Nieuwegein zijn ook criteria voor realisatie en beheer en onderhoud in de uitvoerende fase opgenomen. Deze zijn in het kader van dit project niet richtinggevend geweest en daarom hier niet opgenomen.

## 4 Design voor Nieuwegein City West

In de ontwikkeling van een waterconcept voor Nieuwegein City West wordt primair ingezet op het voorkomen van wateroverlast tijdens piekbuien, het maximaal (her)gebruiken van water binnen het plangebied en daardoor het reduceren van de drinkwatervraag. Via het toepassen van blauw-groene concepten draagt het waterconcept ook bij aan het voorkomen van hittestress en verhogen van de belevingswaarde van het gebied, echter voorkomen van wateroverlast en hergebruik van water om te komen tot minder drinkwaterverbruik zijn als primaire doelstellingen gehanteerd. In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens de watervraag in het plangebied geanalyseerd, oplossingsmogelijkheden voor het omgaan met de verschillende waterstromen (blauw, lichtgrijs, grijs + zwart) in het plangebied gepresenteerd en vervolgens worden deze geprojecteerd op het ontwikkeltraject van de verschillende bouwblokken. Omdat deze niet parallel lopen, en in de gevallen van B1 en C5 ten dele overlappen met de uitvoering van dit project, zijn niet alle oplossingen in alle blokken te implementeren. Daarom eindigt dit hoofdstuk met het beschrijven van een drietal scenario's waarin verschillende niveaus van implementatie, en de consequenties daarvan, worden toegelicht.

N.B.: in alle berekeningen hieronder is uitgegaan van de uiteindelijke situatie waarin alle bouwblokken volledig ontwikkeld zijn volgens de gekozen concepten. Dit omdat de centrale voorzieningen niet per blok gedimensioneerd en gerealiseerd worden, maar voor de gecombineerde vraag en aanbod van water. Dit betekent dat er een tussenfase zal zijn waarin de eerste bouwblokken (B1, C5) gerealiseerd zijn, maar de voorzieningen voor water(her)gebruik nog niet gereed zijn. Deze fasen dienen overbrugd te worden door gebruik te maken van de klassieke infrastructuur (riolering, drinkwateraansluiting) die daarop berekend dient te zijn.

### 4.1 Watervraag

De watervraag in het plangebied wordt bepaald door twee primaire behoeften: water voor groen en water voor huishoudelijk gebruik. Daarbinnen kan onderscheid gemaakt worden tussen laagwaardige toepassing (berekening openbaar en particulier groen, toiletspoeling) en hoogwaardige toepassing (menselijke consumptie en toepassingen die met consumptie of hygiëne te maken hebben, zoals douche, bad, keuken, wasmachine).

Op basis van de kentallen in Tabel 3-1 en Tabel 3-2 is berekend dat voor de groenvoorziening jaarlijks tot 8500 m<sup>3</sup> benodigd zal zijn. Daarbij is uitgegaan van openbaar groen dat volledig uit bomen bestaat en maximale toepassing van groene gevels. In een zeer droge zomer kan de watervraag hoger zijn. Uit Tabel 3-3 blijkt dat er, ook in droge jaren, ruim voldoende hemelwater (blauw water) beschikbaar kan zijn om aan deze vraag te voldoen (Tabel 4-1). De tabel laat ook zien dat de hoeveelheid blauw water, zelfs bij 100% benutting, niet toereikend is voor het afdekken van de vraag naar water van laagwaardige kwaliteit. Wanneer het lichtgrijze water wordt toegevoegd aan het water dat beschikbaar is voor (her)gebruik ontstaat een hoeveelheid die voldoende is om de vraag aan water van laagwaardige kwaliteit af te dekken. Indien verdere circulariteit wordt nagestreefd, en ook de hoogwaardige waterbehoefte uit lokaal (her)gebruikt water afgedekt zou moeten worden, is de combinatie van blauw en lichtgrijs water onvoldoende om deze af te dekken en zou ook grijs/zwart water tot hoogwaardige kwaliteit opgewerkt moeten worden. Na het beschrijven van de technische oplossingen om deze stappen mogelijk maken, wordt in paragraaf 4.3 de balans tussen vraag en aanbod voor de verschillende applicatiescenario's per bouwblok in meer detail uitgewerkt.

Tabel 4-1. Watervraag en aanbod plangebied, zonder toepassing van waterbesparende maatregelen.

Bron	Max m3 beschikbaar per jaar
Hemelwater (blauw)	17.480*
Afvalwater	100.330
Waarvan:	
Lichtgrijs	42.970
Overig Grijs/Zwart	57.350
<i>Totaal</i>	<i>117810</i>
Toepassing	Benodigd m3 per jaar
Groen	8500
Waarvan:	
Openbaar groen	4300
Groene gevels	4200
Drinkwater	100330
Waarvan:	
<b>B1**</b>	
Toiletspoeling	10620
Hoogwaardig	26000
<b>C1 – C5</b>	
Toiletspoeling	18480
Hoogwaardig	45230
<i>Totaal</i>	<i>108830</i>

\* Bestaande uit de 23290 m<sup>3</sup> afstromend water in het business-as-usual scenario minus de waterbehoefte van de blauwgroene daken en minus extra infiltratie in de openbare ruimte uit het drainage – irrigatie - transport (DIT) riool, zie sectie 4.2.2.

\*\* B1 separaat benoemd omdat de planvorming voor dit blok dermate vergevorderd is dat niet alle maatregelen nog geïmplementeerd kunnen worden

## 4.2 Oplossingen voor opvangen, zuiveren en opslag

In deze paragraaf worden vier oplossingen beschreven. De eerste is de ondergrondse waterberging, die in de overige uitgewerkte oplossingen een centrale rol speelt in het in balans brengen van vraag en aanbod omdat het opgevangen en gezuiverde water (blauw en lichtgrijs) hierin (gedeeltelijk) wordt opgeslagen. Daarna worden de ontworpen concepten voor het omgaan met blauw, lichtgrijs en grijs+zwart water beschreven.

Om het voorlopig ontwerp te kunnen maken zijn (voorlopige) keuzes gemaakt, waaronder productkeuzes, om te komen tot een juiste invulling van de kaders en randvoorwaarden. In een definitief ontwerp kunnen andere keuzes gemaakt worden.

### 4.2.1 Ondergrondse waterberging

Het overtollige hemelwater en (licht)grijze afvalwater worden na zuivering (zie 4.2.2) via een geboorde injectieput zoveel mogelijk in de diepere ondergrond geïnjecteerd en opgeslagen voor later gebruik in een periode van vraag. Deze ondergrondse waterberging (OWB) is een techniek die tegenwoordig op veel plekken en voor diverse doeleinden wordt toegepast (Zuurbier, 2019b). Het voordeel van dit systeem is dat het water beschermd is tegen invloeden van buitenaf waardoor de kwaliteit van het opgeslagen water langdurig goed blijft. De toepasbaarheid van een OWB is afhankelijk van de lokale opbouw van de ondergrond en het grondwatersysteem. De ondergrond in het plangebied is geschikt voor de realisatie van een OWB (zie de analyse in bijlage III).

Het bovengrondse ruimtebeslag is zeer beperkt, waardoor het systeem makkelijk toepasbaar is in een stedelijke omgeving. De aansturingsruimte van de ondergrondse waterberging kan volledig ondergronds afgewerkt worden. Indien zoals in Nieuwegein de stijghoogte in het watervoerende pakket ver genoeg onder maaiveld ligt, kan het gezuiverde water onder vrij verval worden geïnfiltreerd en zijn geen bovengrondse onderdelen nodig. Omdat op termijn enige putverstopping onvermijdelijk is, waardoor het effectieve stijghoogteverschil afneemt, is het aan te raden om een zogeheten voordrukbus te voorzien om een duurzaam voldoende hoog infiltratiedebiet te genereren. Dit is het enige element van de berging dat op maaiveldniveau zichtbaar is (ca. 1 x 1 x 2 meter; l x b x h). Het uiterlijk hiervan kan naar wens worden vormgegeven conform de architectuur van de wijk.

Ondergronds dient in het watervoerende pakket voldoende afstand te worden gehouden (ongeveer 500 m) tot andere bestaande en nieuwe grondwatergebruikers, zoals WKO-systemen. Bij voorkeur wordt de OWB gerealiseerd in een ander watervoerend pakket dan overige grondwatergebruikers, zodat zo min mogelijk interferentie plaatsvindt.

Tot slot is het van belang om de omvang van de OWB aan te passen op het benodigde gebruik. Voor een goed functionerende OWB dient iets meer water geïnfiltreerd dan onttrokken te worden. Daarbij kan rekening worden gehouden dat in dichtbebouwde omgeving de natuurlijke infiltratie beperkt wordt en dat door extra infiltratie dit (ten dele) gecompenseerd kan worden. De OWB wordt hierop gedimensioneerd en de verwachting is dat deze een gering ruimtebeslag zal hebben in de ondergrond (100 - 120 m).

De verwachting is dat op de meeste binnenstedelijk locaties een wateroverschot bestaat: de hoeveelheid op te slaan hemelwater en gezuiverd afvalwater overstijgt de watervraag. Daarnaast functioneert infrastructuur voor de OWB optimaal wanneer ze wordt ingericht voor gelijkmatige infiltratie van water. Gedurende het jaar en in het bijzonder gedurende piekbuien, ontstaat er een wateroverschot dat niet meteen geïnfiltreerd kan worden. Om te voorkomen dat er wateroverlast bestaat dient dit naar het oppervlaktewater afgevoerd te worden.

De projectlocatie ligt in het centrum van Nieuwegein, en de realisatie van aanvullende bodemenergiesystemen is niet uitgesloten. Daarnaast is het in ieder geval verstandig om de beoogde ondergrondse waterberging te plaatsen op een locatie die zo ver mogelijk van andere voorzieningen en eventuele grondwaterverontreinigingen om eventuele interferentie te minimaliseren. In geval van City Nieuwegein betekent dit een plaatsing zo ver mogelijk naar het noordwesten van het projectgebied (zie de analyse in bijlage III)

### Componenten en ruimtebeslag

Voor de realisatie van de OWB kan gekozen worden uit een systeem met één of twee putten. Bij toepassing van een enkele put vinden infiltratie en terugwinning via twee gescheiden filters in dezelfde stijgbuis plaats. Een systeem met twee putten geeft meer flexibiliteit (zie bijlage III). De belangrijkste argumenten voor een twee-putten systeem worden hieronder weergegeven. In de rest van deze studie wordt uitgegaan van toepassing van een twee-putten oplossing.

Voordelen twee-putten systeem t.o.v. een enkele put:

- In geval van onderhoud of calamiteit aan één put, kan de tweede put altijd worden blijven gebruikt. Dit is zeer gewenst bij een continu wateraanbod (grijs water)
- Realisatie van een zgn. **ASTR** (aquifer storage, transfer and recovery) blijft mogelijk. Dit is een variant op de OWB waarbij twee putten op enige afstand van elkaar worden gebruikt: één voor infiltratie en één voor onttrekking. Het geïnfiltreerde water kan zodoende afdrijven naar de onttrekkingsput, waar het vervolgens onttrokken kan worden. Hierbij is de verblijftijd, de mate van bodempassage, en de mate van natuurlijke afbraak van microbiologische organismen maximaal.



De voor de realisatie van een OWB relevante componenten zijn weergegeven in Tabel 4-2.

Tabel 4-2. Componenten ondergrondse waterberging.

OWB Component	Zichtbaar element maaiveld	Ruimtebeslag
Bufferput	Putdeksel (700 mm diam.)	1 m <sup>2</sup> (ondergronds)
Infiltratiebron	Putdeksel (900 x 900 mm)	2 m <sup>2</sup> (ondergronds)
Onttrekkingsbron	Putdeksel (900 x 900 mm)	2 m <sup>2</sup> (ondergronds)
Voordrukbuuis	1 m x 1 m x 2 m (l x b x h)	1 m <sup>2</sup> (bovengronds)

## Kosten

De investeringskosten voor aanleg van bronnen en aansturing liggen in de ordegrootte van 300 - 400 k€. <sup>5</sup> Deze kosten zijn inclusief die voor de aanleg van de voorzuivering (zie 4.2.2). Operationele kosten (elektriciteit, onderhoud, en monsternamen) worden geschat op 10 k€/jaar.

### 4.2.2 Blauw

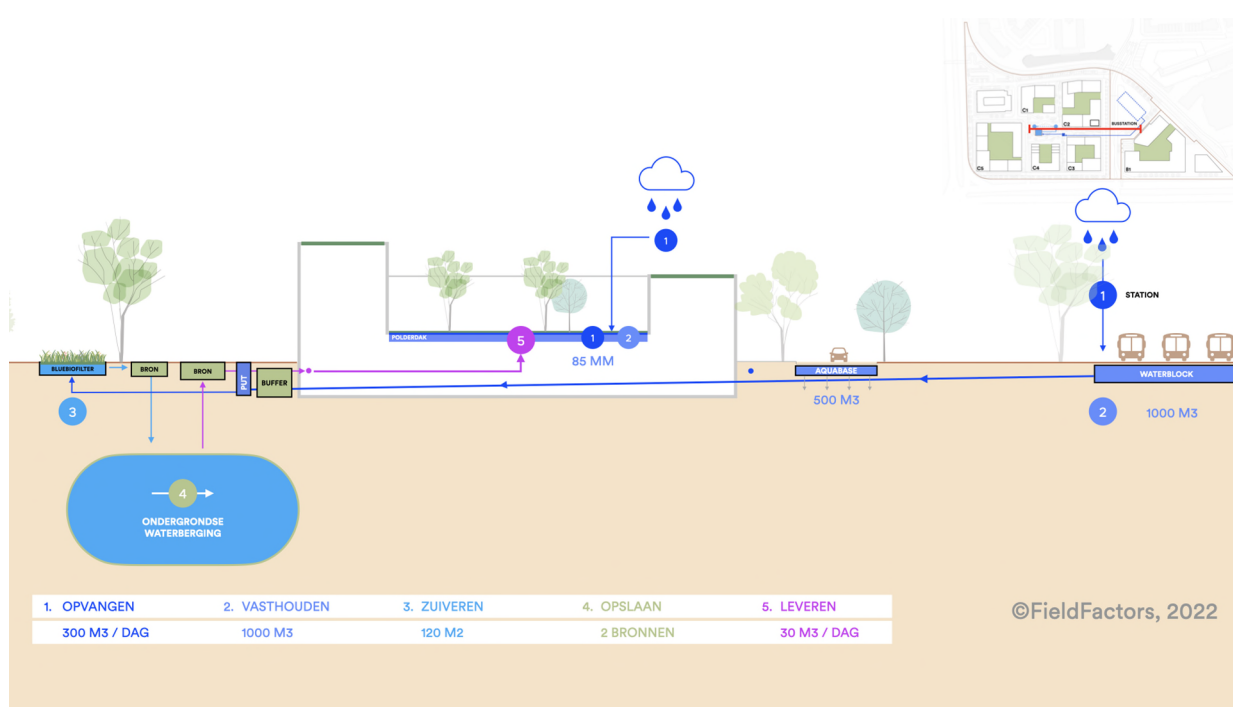
De technische oplossing voor het omgaan met hemelwater (blauw) richt zich op drie hoofddoelen. Ten eerste is de oplossing erop gericht om wateroverlast ten tijde van piekbuien te voorkomen. Tegelijkertijd draagt de oplossing bij aan het tegengaan van hittestress en verbetering van het leefklimaat doormiddel van groen. Ook is ze ingericht om water lokaal op te slaan en beschikbaar te maken om stedelijk groen te voorzien van water in droge perioden. Het overschot aan opgevangen water kan daarnaast ook gebruikt worden om (een deel van) de behoefte voor toiletspoeling te dekken. Dit hemelwater betreft zowel neerslag die afstroomt van daken van gebouwen en binnentuinen (particulier terrein) als neerslag die valt op verhard oppervlak (openbaar en particulier) en het busstation. Voor de functies 1 – 5 zijn de volgende oplossingen gekozen (zie Figuur 4-1):

- 1 & 2 (opvangen en vasthouden):
  - Voorziening voor omgaan met piekbuien van 70mm in 1 uur, waarbij 50 mm neerslag wordt opgevangen en vastgehouden in bouwblokken B1, C1 – C5. De overige 20 mm neerslag wordt naar het openbare gebied afgeleid voor infiltratie. Hiervoor wordt gebruikt gemaakt van de volgende componenten:
    - Blauwgroene daken en binnentuinen, bestaande uit een substraatlaag met vegetatie met daaronder een kunststof krattenstructuur (voorbeeld Permavoid systeem).
    - De watervraag voor de groencomponent wordt gedekt door het vastgehouden water in de krattenstructuur. Overtollig water stroomt af.
    - De berging op de blauwgroene daken kan actief geleegd worden (binnen 48 uur) om capaciteit voor opvang van nieuwe (piek)buien te creëren.
    - Aanvoer van water naar de substraatlaag is mogelijk om bij langdurige droogte te kunnen voorzien in de waterbehoefte van de vegetatie op de blauwgroene daken.
  - Voorziening voor het opvangen en vasthouden van 50 mm neerslag in 1 uur in openbare ruimte en infiltratie van overige 20 mm neerslag in piekbuien van het openbare gebied en bouwblokken.
    - Berging en infiltratie regenwater in een drainage – irrigatie - transport (DIT) riool, bijvoorbeeld een AquaBase systeem of een ander systeem waarbij de holle ruimte in het funderingsgebied fungeert als berging. Vanuit deze berging infiltreert het water in de bodem óf wordt het vertraagd afgevoerd. <sup>6</sup> Dit riool wordt aangelegd onder de openbare ruimte.

<sup>5</sup> In bijlage III (tabel 6.3) zijn kosten berekend inclusief de voorzuivering en kosten voor berging. Deze zijn hier separaat benoemd in sectie 4.2.2 – Blauw. De kosten in deze bijlage gelden voor een systeem met een enkele put. In kosten hier opgenomen is een twee put voorzien.

<sup>6</sup> Door de hoge retentie in het DIT riool wordt verwacht dat er aanzienlijk meer infiltratie plaatsvindt dan aangegeven in Tabel 3-3 waardoor het maximaal beschikbare volume van 23.290m<sup>3</sup> niet gehaald zal worden. Voor de verdere berekeningen wordt hier toch mee gewerkt omdat een nauwkeurige inschatting van de infiltratie niet mogelijk was.

- Waterbuffer onder stationsgebied voor opvang van afgevoerde water uit DIT riool (voorbeeld Waterblocks systeem).
- 3 (zuiveren):
  - Voordat het opgevangen hemelwater in de diepere ondergrond geïnfiltrerd kan worden dient het aan kwaliteitseisen te voldoen (zie bijlage III). Hiertoe wordt een natuurlijk zuiveringssysteem aangelegd dat zorgt voor het voldoen aan Nederlandse waterkwaliteitsnormen voor infiltratie<sup>7</sup>, bijvoorbeeld het BlueBioFilter systeem (Zurbier et al., 2019a).
- 4 (opslaan): Zie OWB - infiltratiebron
- 5 (gebruiken):
  - Wanneer het water nodig is, wordt het opgepompt uit de waterberging en geleverd aan het stedelijk groen en/of toiletspoeling (laagwaardige toepassing). Zie OWB – onttrekkingsbron. Hiertoe dient een irrigatiesysteem en/of grijswatersysteem in de bouwblokken aangelegd te worden. Voor beplanting in de volle grond kan hiertoe mogelijk ook het DIT riool gebruikt worden. Aangezien de exacte planning hiervan afhankelijk is van het groenplan en/of het besluit om het water voor toiletspoeling te gebruiken, zijn kosten voor overige componenten niet geraamd in deze studie.

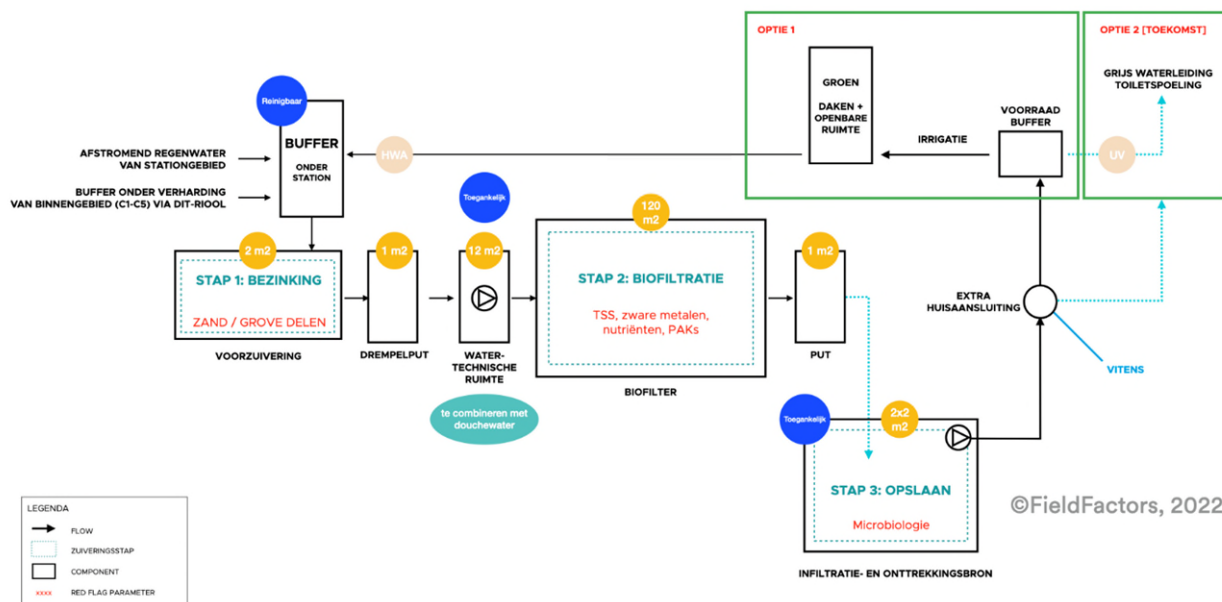


Figuur 4-1. Opvangen (1) en vasthouden (2), zuiveren (3), opslaan (4) en hergebruiken (5) van regenwater in de openbare ruimte, stationsgebied en blauwgroene daken.

De technische oplossing (Figuur 4-2) omvat alle elementen die nodig zijn om te zorgen voor 1) opvangen en vasthouden van hemelwater om wateroverlast te voorkomen (piekbuien van 70 mm in 1 uur) en 2) het zuiveren en infiltreren van hemelwater voor opslag ten behoeve van (her)gebruik. De zuivering bestaat uit bezinking voor het verwijderen van zand en grove delen gevolgd door biofiltratie voor de verwijdering van zwevend stof, organische vervuilingen, nutriënten en metalen. Voor deze zuivering kan bijvoorbeeld het BlueBioFilter systeem worden toegepast (zie bijlage V).

<sup>7</sup> Deze zijn gebaseerd op de Europese grondwaterrichtlijn - 2006/118/EG. De Nederlandse wetgeving is ambivalent met betrekking tot dit soort infiltraties. Bij twijfel bepaalt het bevoegd gezag welke richtlijn wordt gehanteerd. Dit is vaak het infiltratiebesluit, dat echter is bedoeld voor infiltratie van oppervlaktewater.

Omdat piekbuien verwerken een groter ruimtebeslag vraagt dan het verwerken van een normale bui (15 mm/uur) en jaarlijks niet veel meer water oplevert voor hergebruik, wordt de infrastructuur voor zuivering en opslag gedimensioneerd op normale buien en op het verwerken van een totale neerslaghoeveelheid van 17.480 m<sup>3</sup> hemelwater (maximale afstromende hoeveelheid in een gemiddeld jaar, Tabel 4-1). Het overschot dat wordt geborgen tijdens piekbuien en niet tijdig geïnfiltreerd kan worden, wordt naar het oppervlaktewater afgevoerd.



Figuur 4-2. Proces flow diagram Voorlopig Ontwerp regenwater.

### Componenten en ruimtebeslag

In Tabel 4-3 worden het ruimtebeslag en kosten voor de componenten van de oplossing Blauw op een rijtje gezet.

Tabel 4-3. Componenten technische oplossing Blauw.

Componenten	Ruimtebeslag	Kosten (k€)
Krattenstructuur voor vasthouden en opslag hemelwater (Permavoid)	15000 m <sup>2</sup> dakoppervlak en binnentuin	500 – 550
Vasthouden onder openbare ruimte (AquaBase of vergelijkbaar)	Ondergronds, 500 m <sup>3</sup>	175 – 350
Hemelwateropslag busstation (Waterblocks)	Ondergronds, 1000 m <sup>3</sup>	
Waterzuivering bestaande uit: <ul style="list-style-type: none"> <li>Voorbezinktank</li> <li>Drempelput</li> <li>Watertechnische ruimte</li> <li>Biofilter</li> <li>Put</li> </ul>	2 m <sup>2</sup> (ondergronds) 1 m <sup>2</sup> (ondergronds) 12 m <sup>2</sup> (ondergronds, toegankelijk vanaf maaiveld) 120 m <sup>2</sup> 1 m <sup>2</sup>	300-400*
Ondergrondse waterberging		Zie 4.2.1
Irrigatiesysteem openbaar groen (DIT riool)	Ondergronds	**

\* Deze kosten zijn inclusief de kosten voor de OWB, zie 4.2.1.

\*\* omdat hiervoor het DIT riool, bijv. Waterblocks, worden gebruikt brengt dit geen infrastructuurkosten met zich mee. Omdat mogelijk niet al het groen in de volle grond staat, of omdat voor gelijkmatige verdeling van het water over het DIT riool voor irrigatiedoeleinden voeding op meerdere punten nodig kan zijn, is mogelijk extra leidingwerk nodig. Dit dient in het definitieve ontwerp ingepast te worden op basis van het groenplan.

Operationele kosten (elektriciteit, onderhoud, reiniging Waterblocks buffer, en monsternamen) worden geschat op 15k-20k per jaar. Dit is inclusief de operationele kosten voor de OWB.

### 4.2.3 Lichtgrijs

Zoals eerder berekend (Tabel 4-1), is voor een ontwikkeling zoals voorzien in het plangebied opslag en gebruik van hemelwater afdoende om de behoefte aan water voor groen af te dekken<sup>8</sup>. Indien het water ook voor ander laagwaardig gebruik, zoals toiletspoeling, ingezet dient te worden, is er onvoldoende water beschikbaar om de volledige behoefte te dekken vanuit het beschikbare hemelwater (Tabel 4-1). Aanvullend zou licht vervuild water uit douche en bad (lichtgrijs water) ingezet kunnen worden. Wanneer dit water in een gescheiden leidingwerk wordt opgevangen en naar de perceelgrens van het bouwblok wordt geleid, is het mogelijk om dit water eenvoudig te zuiveren (Arden en Ma, 2018) en toe te voegen aan de OWB. Om aan de totale behoefte voor laagwaardig gebruik te voldoen is jaarlijks een maximale behoefte van geschat 27.000 m<sup>3</sup> water nodig. Hierbij wordt uitgegaan van een maximale aanvullende behoefte voor groen (bomenrijke openbare ruimte, maximale realisatie groene gevels) van 8500 m<sup>3</sup> en toiletspoeling van reguliere toiletten in C1 – C5 van 18.480 m<sup>3</sup> (Tabel 4-1).<sup>9</sup>

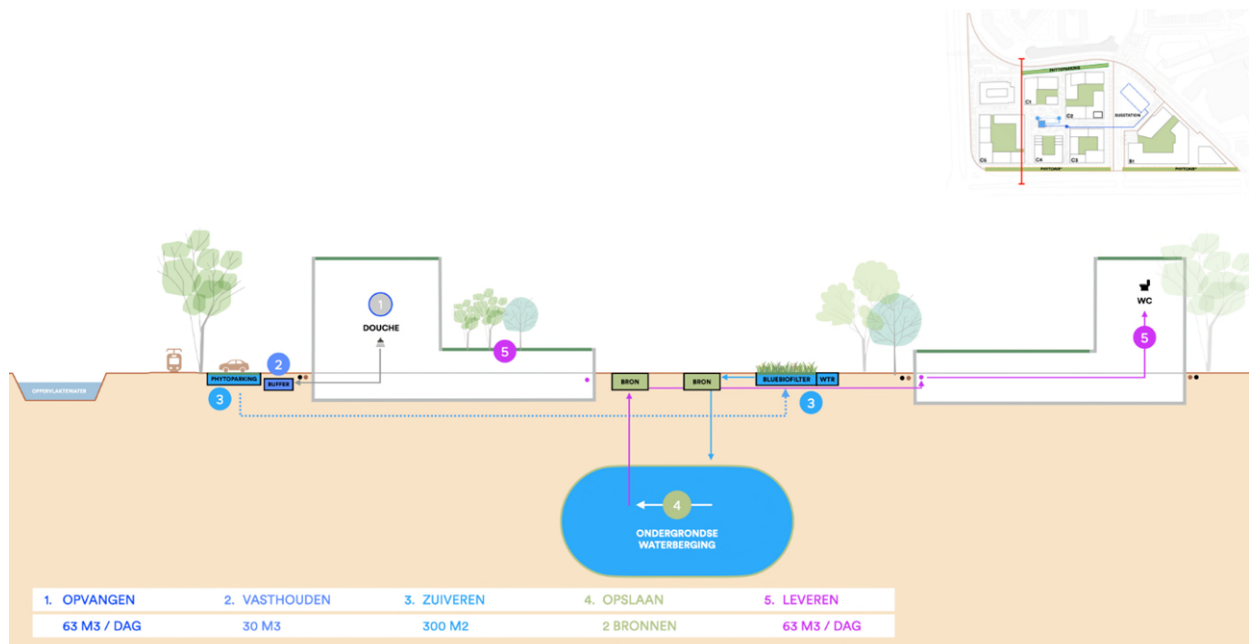
Het afstromende regenwater levert hiervan een aanzienlijk deel (maximaal 17.480m<sup>3</sup>, praktisch gezien minder doordat de zuivering voor het hemelwater niet gedimensioneerd is op de verwerking van al het water uit piekbuien en omdat efficiëntie in zuivering, opslag en terugwinning uit OWB geen 100% is). Op basis van de geschatte inwonersaantallen en de productie van lichtgrijs water per persoon per dag, levert het opvangen en zuiveren van lichtgrijs water uit blokken B1 en C5 ongeveer 23.000 m<sup>3</sup> water op (63 m<sup>3</sup>/dag). Dit is, samen met het hemelwater uit de oplossing voor Blauw (paragraaf 4.2.2) afdoende om aan de totale vraag voor laagwaardige toepassing te kunnen voldoen voor groen en C1 – C5. Daarom is de oplossing voor lichtgrijs gedimensioneerd om het water van B1 en C5 te verwerken.

Omdat de voorkeur bestaat voor een natuurlijke zuivering die bijdraagt aan de groene beleving in het plangebied, dient een helofytenfilter zich aan als passende zuiveringsoplossing (Hoffmann, Platzer et al. 2011). Door de beperkte ruimte in het plangebied bestaat ook de noodzaak om spaarzaam om te gaan met de beschikbare ruimte. Daarom is er gezocht naar een oplossing die 1) minimaal beslag legt op de ruimte en 2) waar mogelijk functies kan combineren. Door het filterbed actief te beluchten wordt de zuiveringsefficiëntie vergroot en wordt het benodigde oppervlak verkleind. Een voorbeeld van een dergelijk systeem is de Phyto-reeks (zie bijlage V). De oplossing Phytoparking combineert dit beluchte filter systeem met een drukverdelende laag, waardoor er bijvoorbeeld parkeerplaatsen gecreëerd kunnen worden boven het filter. Na zuivering in de Phytoparking wordt het water naar het BlueBioFilter geleid waar het hemelwater mee gezuiverd wordt. Dit fungeert als buffer voor infiltratie. In Figuur 4-3 zijn de onderdelen van de oplossing Lichtgrijs en de belangrijkste waterstromen weergegeven. In Figuur 4-4 is een voorlopig ontwerp van de oplossing Lichtgrijs in de vorm van een flow diagram weergegeven.

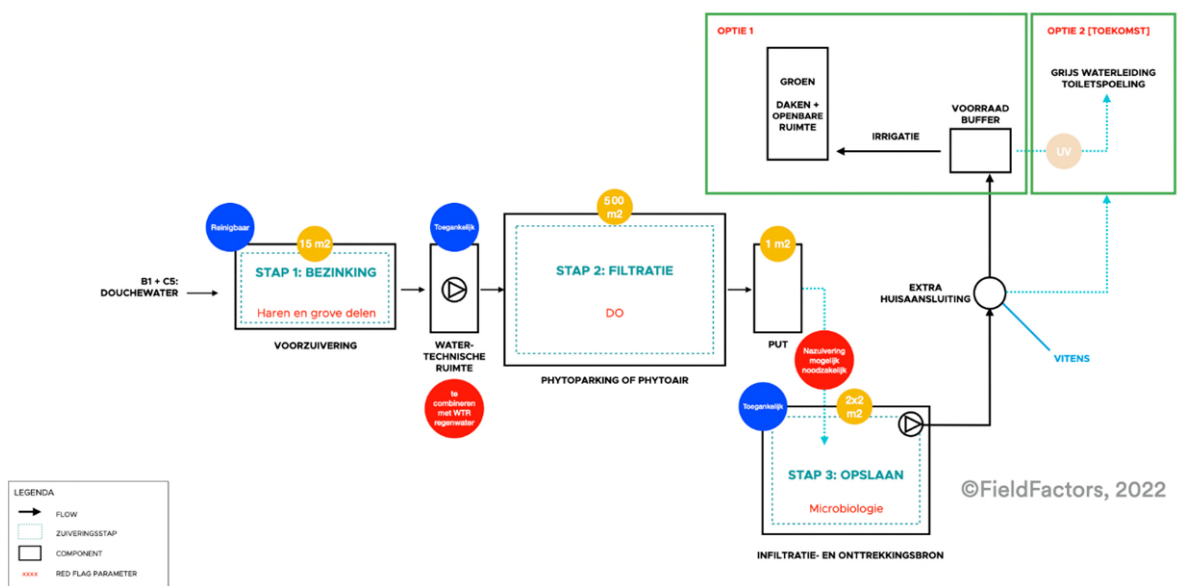
De gemeente Nieuwegein heeft voor de hoogstedelijke omgeving in het plangebied haar voorkeur uitgesproken voor de Phytoparking oplossing uit de Phytoreeks, derhalve zijn de karakteristieken gebruikt voor dit systeem gebruikt in de onderstaande uitwerking.

<sup>8</sup> Voorwaarde is een DIT systeem met voldoende efficiëntie in het verzamelen van hemelwater voor hergebruik, waarbij niet te veel water verloren gaat door infiltratie in de ondergrond.

<sup>9</sup> Ontwerp van B1 is te ver gevorderd om Voorziening voor toiletspoeling met water uit de OWB nog te kunnen implementeren



Figuur 4-3. Opvangen (1) en vasthouden (2), zuiveren (3), opslaan (4) van lichtgrijs water uit bouwblokken B1 en C5. Hergebruik in openbare ruimte en alle bouwblokken B1 en C1 – C5.



Figuur 4-4. Proces flow diagram Voorlopig Ontwerp lichtgrijs water.

## Componenten en ruimtebeslag

In Tabel 4-4 worden het ruimtebeslag en kosten voor de componenten van de oplossing Lichtgrijs op een rij gezet.

Tabel 4-4. Componenten technische oplossing Lichtgrijs.

Componenten	Ruimtebeslag	Kosten (k€)
Gescheiden afvalwatersysteem voor opvang lichtgrijs water in B1 en C5		p.m.
Waterzuivering bestaande uit: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buffer</li> <li>• Voorbezinktank</li> <li>• Helofytenfilter</li> <li>• Technische ruimte</li> </ul> Verwerkt op jaarbasis 23000 m3 lichtgrijs water.	Ondergronds (toegang 1 m2) Ondergronds (toegang 1 m2) 500 m2 (onder parkeerdek) 12 m2 (Ondergronds, toegang 1m2)	140 – 250
Investering in infrastructuur in openbaar gebied		100 - 200
Ondergrondse waterberging		Zie 4.2.1
Gescheiden grijswatersysteem voor toiletspoeling	in pandig	p.m.

Operationele kosten (elektriciteit, onderhoud, reiniging voorbezinktank, en monsternamen) worden geschat op 5k-15k€ per jaar.

### 4.2.4 Grijs + Zwart

Naast (her)gebruik van regenwater en lichtgrijs water is het ook mogelijk om de gehele grijs en zwart water stromen te zuiveren. In een reguliere situatie worden deze via het riool afgevoerd naar een RWZI. In een verdergaand circulair concept worden deze stromen beschouwd als grondstof en kunnen ze voor hergebruik geschikt gemaakt worden. Uit het voorgaande blijkt reeds dat er geen noodzaak is om gezuiverd grijs en zwart water in te zetten om in de behoefte voor laagwaardig gebruik te voorzien. In het kader van het toetsen van circulaire concepten, passend in de ambitie voor de meest duurzame binnenstad, wordt hieronder een oplossing geschetst waarbij ook het grijze en zwarte water verregaand gezuiverd wordt. Omdat de planning van blokken B1 en C5 reeds te ver gevorderd is om dit nog in te kunnen passen, is in het onderstaande alleen geschetst wat dit zou betekenen bij implementatie in C1 – C4.

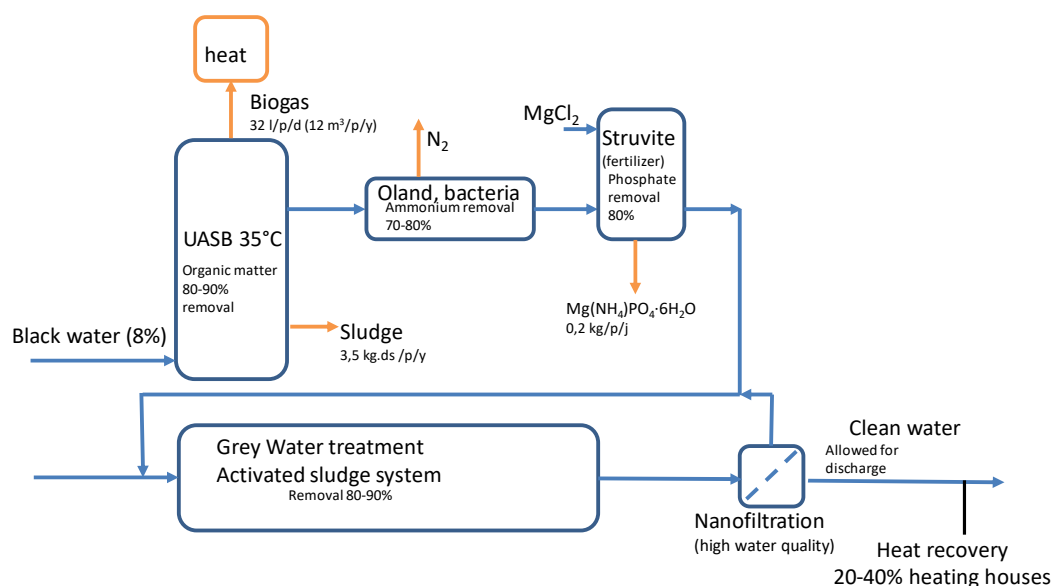
Bij het op locatie (= decentraal) zuiveren van het afvalwater voor lokaal hergebruik, wordt een technologische afvalwaterzuivering gebruikt en geen natuurlijke zoals de eerder beschreven biofiltratie-systemen. Bijlage IV beschrijft een mogelijke oplossing, waarbij wordt ingezet op zowel het zuiveren van het afvalwater als ook het reduceren van het waterverbruik. Figuur 4-5 geeft een schematische weergave van deze zuivering, waarin ook een optionele stap voor fosfaatverwijdering is opgenomen. De belangrijkste stappen zijn hieronder beschreven:

- Het scheiden van afvalwaterstromen aan de bron zodat ze op de meest efficiënte manier gezuiverd kunnen worden. Grijs water en zwart water worden daarom apart verzameld. Opgemerkt wordt dat het lichtgrijze water (douche en bad) daar in oplossing lichtgrijs apart wordt verzameld hier niet afgescheiden wordt maar gezamenlijk met het grijze water wordt opgevangen.
- Zuivering van het grijze water in een actief slib reactor. Hierin worden aanwezig organische materiaal en nutriënten verwijderd.
- Vergisting van het zwarte water gericht op het verwijderen van organisch materiaal vindt plaats in een Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor (Saniwijzer, 2022). Dit wordt gevolgd door een ammonium verwijdering in een Oxygen-Limited Autotrophic Nitrification-Denitrification (OLAND) (STOWA, 2014b). Na afscheiden van slib en biogas wordt het water naar de vergisterei voor de grijswaterzuivering geleid.

- Als laatste zuiveringsstap wordt gebruikt gemaakt van nanofiltratie om microverontreinigingen en pathogenen te verwijderen.

Overige (mogelijke) voordelen van deze oplossing:

- Een geconcentreerder zwart water stroom kan efficiënter vergist worden. Door inzet van vacuümtoiletten kan de zwart waterstroom extra geconcentreerd worden terwijl tegelijkertijd de watervraag voor toiletspoeling gereduceerd wordt.
- Het zwarte water kan verder verrijkt worden door er keukenafval aan toe te voegen d.m.v. keukenvermalers. Hiervoor is echter wel water nodig, waardoor de waterbesparing door de vacuümtoiletten deels tenietgedaan wordt.
- Het afvalwater is na zuivering warm (~20°C) en kan daardoor als warmtebron voor een WKO-systeem worden gebruikt.
- Het geproduceerde biogas kan worden gebruikt om in de warmtevoorziening van de zuivering te voorzien en om de WKO te voeden.



Figuur 4-5. Processchema voor het decentraal behandelen van afvalwater volgens het in bijlage IV uitgewerkte concept.

Belangrijk aandachtspunt:

Hoewel het systeem kwalitatief goed water produceert, is er op de locatie geen behoefte aan dit water voor laagwaardig gebruik. Voor hoogwaardig gebruik (drinkwater) voor alle andere toepassingen geldt dat in een centrale voorziening het water alleen door het drinkwaterbedrijf geleverd mag worden. Nieuwegein valt in het verzorgingsgebied van drinkwaterbedrijf Vitens. Vitens is bij het project aangesloten en wil verkennen wat de mogelijkheden zijn voor decentrale drinkwaterproductie (bijvoorbeeld uit het effluent uit de decentrale afvalwaterzuivering). Deze verkenning valt buiten de scope van het huidige project, maar is wel reeds opgenomen in Figuur 4-7.

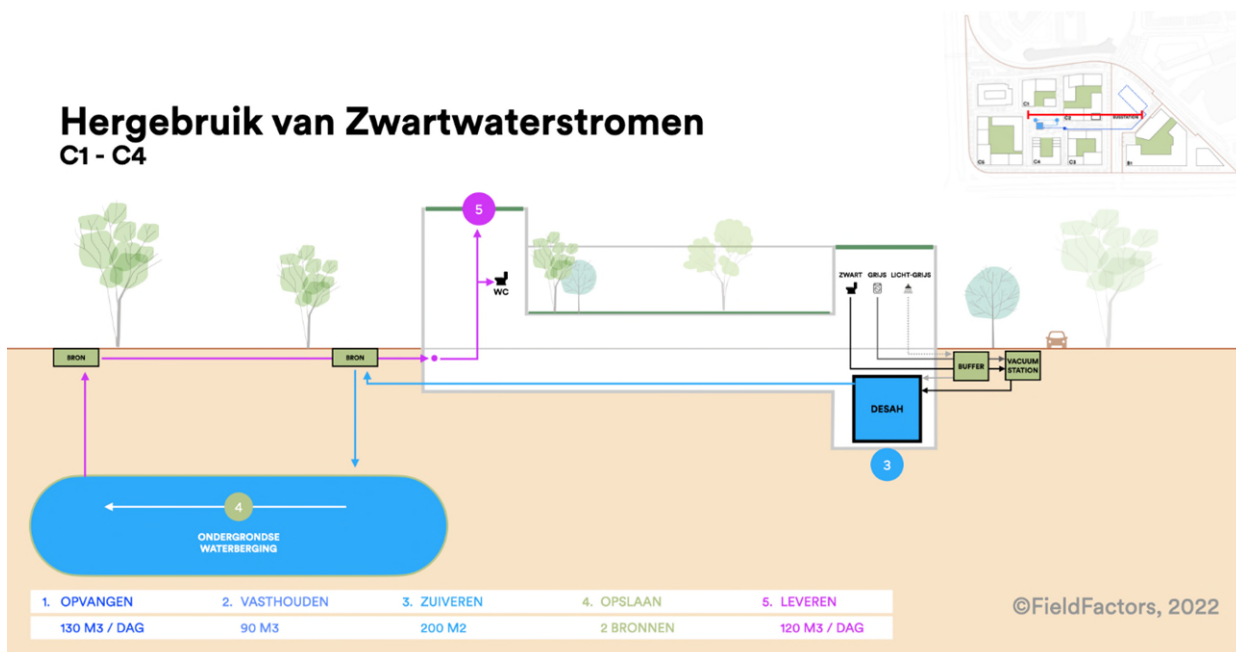
Het gezuiverde water zou in de OWB geïnfilteerd kunnen worden indien de kwaliteit geborgd is (zie hoofdstuk 5). Echter, hierbij dient er wel gestuurd te worden op balans van infiltratie en onttrekking. Indien er netto infiltratie plaatsvindt zal het ruimtebeslag in de ondergrond jaarlijks toenemen, wat tot interferentie met andere activiteiten zoals WKO-systemen.

In de oplossing grijs+zwart wordt gebruikt gemaakt van een combinatie van vergisting en nanofiltratie. Met behulp van deze zuiveringsstappen worden mogelijk niet alle probleemstoffen verwijderd. Er is in deze studie nog niet onderzocht wat de samenstelling is van de waterstroom die uit deze zuivering en of additionele nazuivering

noodzakelijk is voordat het water geïnfiltererd kan worden. Ook wordt er bij de nanofiltratie een concentraatstroom geproduceerd. In bijlage IV is aangegeven dat deze teruggevoerd wordt in het proces, en dat daarmee geen separate reststroom ontstaat. Dit kan echter leiden tot het ophopen van microverontreinigingen en zouten in het systeem, waardoor periodiek alsnog een deel van het concentraat afgevoerd en verwerkt zou moeten worden. Dit is in deze studie nog niet verder uitgewerkt.

Kwaliteitsbewaking behandeld water en robuustheid van een waterzuivering zijn belangrijke zaken. Dit geldt in het bijzonder voor de waterzuivering in de oplossing grijs+zwart, door de complexere aard van het systeem ten opzichte van blauw en lichtgrijs, maar ook vanwege de mogelijke risicofactoren, zoals doorbraak van pathogenen en microverontreinigingen, en de hogere kwaliteitseisen voor eventueel gebruik van hoogwaardig water. Inrichting van kwaliteitsbewaking, neergelegd in een gedegen monitoringsstrategie, zijn derhalve essentieel.

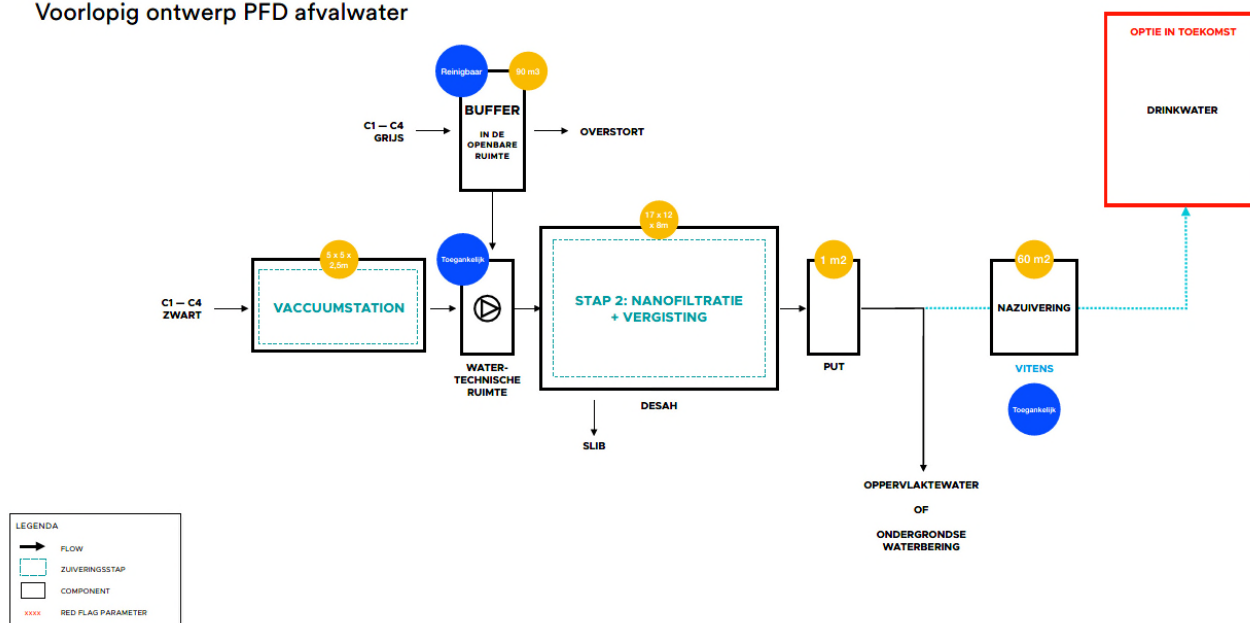
In Figuur 4-6 zijn de onderdelen van de oplossing grijs+zwart en de belangrijkste waterstromen weergegeven. In Figuur 4-7 is een voorlopig ontwerp van de oplossing grijs+zwart in de vorm van een flow diagram weergegeven.



Figuur 4-6. Zuiveren (3) van grijs en zwart water uit C1-C4 en potentie voor opslag en/of gebruik (5) in B1 en C1 – C5 en openbare ruimte. In de figuur zijn lichtgrijs en grijs als twee gescheiden bronnen weergegeven – in oplossing grijs+zwart worden deze niet gescheiden maar juist gezamenlijk opgevangen.



## Voorlopig ontwerp PFD afvalwater



Figuur 4-7. Proces flow diagram Voorlopig Ontwerp grijs + zwart water. Hierin is als bestemming voor het gezuiverde water een drietal opties aangegeven: toevoegen aan de OWB, afleiden naar oppervlaktewater of verder zuivering tot drinkwater middels een decentrale drinkwaterzuivering van Vitens.

## Componenten en ruimtebeslag

In Tabel 4-5 worden het ruimtebeslag en kosten voor de componenten van de oplossing Grijs+Zwart op een rij gezet.

Tabel 4-5. Componenten technische oplossing Grijs + Zwart voor C1 – C4 (600 appartementen).

Componenten	Ruimtebeslag	Kosten (k€)
Vacuümtoilet + vacuümleiding*	Inpandig	570**
Vacuümriolering en vacuümstation, overige infrastructuur in openbaar gebied	5 x 5 x 2.5 m (l x b x h)	400 - 700
Keukenvermaler*	Inpandig	600
Waterzuivering Verwerkt op jaarbasis 47000 m3 grijs en zwart water. Incl. buffertank grijswater	17 x 12 m (l x b). Grootste hoogte: 8 m	1100

\* Kosten voor eigenaar/huurder

\*\* gemiddelde prijs voor vacuümleiding uit bijlage IV gehanteerd.

Omdat de ruimte in de openbare ruimte schaars is, zou gekozen moeten worden voor inpandig realiseren van de zuivering. Er is reeds ervaring met het installeren van dergelijke inpandige zuiveringsinstallaties (zie bijlage IV). Exploitatiekosten o.a. personeelskosten voor beheer, onderhoudskosten (onderdelen, reparaties), analysekosten, slibtransport en verwerking, overige (elektriciteit, gas, water) en worden geschat op 65 k€ per jaar.

Tabel 4-6. Baten technische oplossing Grijs + Zwart voor C1 – C4 (600 appartementen).

Componenten	Baten (k€)
Besparing inzameling GFT*	15
Warmtelevering (aan WKO)	21
Besparing drinkwater**	8,8***

\* uitgaande van 25€ per jaar per appartement, zoals bepaald voor de casus Noorderhoek, bron STOWA (2014a)

\*\* 20 L per persoon per dag, uit 30 L/pp/dag besparing door vacuümtoilet en 33% minder waterbesparing bij toepassen van keukenvermalers, uit bijlage IV. Dit is een besparing van in totaal 7900m<sup>3</sup> drinkwater.

\*\*\* uitgaande van een prijs per m<sup>3</sup> van 1,11€, Vitens (2022).

### 4.3 Scenario's

Het stedelijk waterconcept, zoals uitgewerkt in dit hoofdstuk, zal worden geïmplementeerd in City Nieuwegein. Aangezien de ontwikkelingen van de verschillende onderdelen van het plangebied niet synchroon lopen, kunnen niet alle onderdelen uit het waterconcept in alle deelgebieden worden geïmplementeerd. Zo is bijvoorbeeld de ontwikkeling van de woongebouwen in blok B1 reeds te ver gevorderd om nog in pandig hergebruik van gezuiverd lichtgrijs water of de installatie van vacuümtoiletten te realiseren. Voor City Nieuwegein wordt zodoende een opzet met drie verschillende scenario's voorgesteld, die worden geïmplementeerd in verschillende onderdelen van het plangebied:

- Scenario +: besparing
- Scenario ++: vervanging
- Scenario +++: circulair

De scenario's zijn ieder een combinatie van meerdere oplossingen zoals in sectie 4.2 beschreven. In Tabel 4-7 wordt weergegeven welke oplossingen in welk scenario worden gecombineerd. Figuur 4-8 geeft een schematisch overzicht van de implementatie van scenario +++ en de belangrijkste onderdelen en waterstromen in dat scenario.

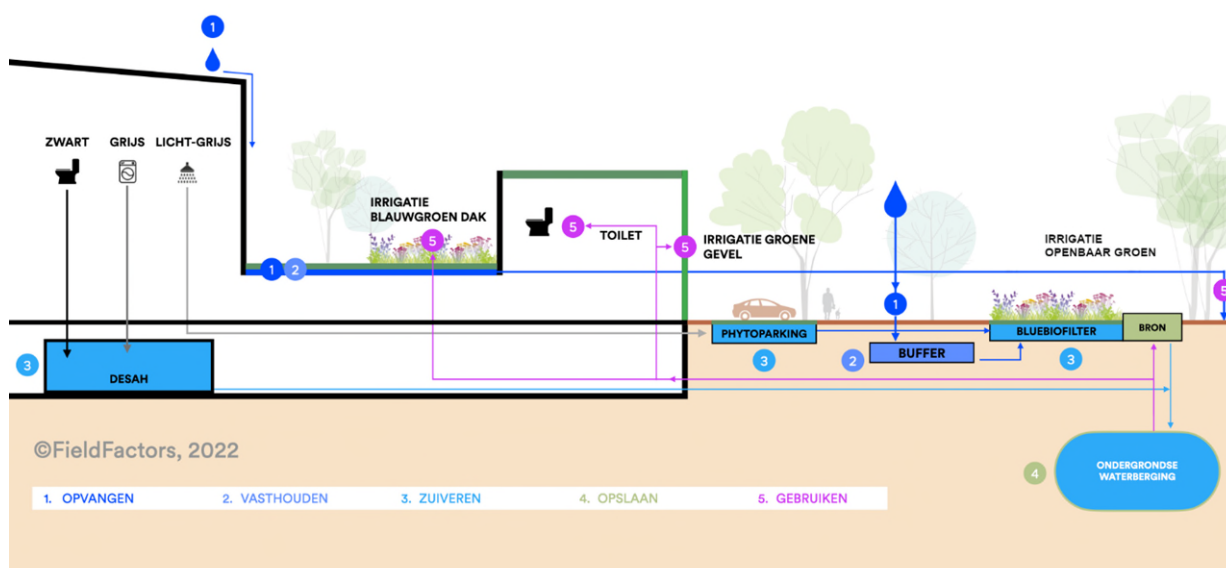
Tabel 4-7. Overzicht van de toegepaste oplossingen in de uitgewerkte scenario's.

Scenario's	Oplossingen			
	OWB	Blauw	Lichtgrijs	Grijs+Zwart
+ (besparing)	x	x		
++ (vervanging)	x	x	x	
+++ (circulair)	x	x	x	x

In alle berekeningen hieronder is uitgegaan van de uiteindelijke situatie waarin alle bouwblokken volledig ontwikkeld zijn volgens de gekozen concepten. Er is dus geen sprake van scenario's per bouwblok maar voor het gehele plangebied. Wel is er rekening gehouden met de (on)mogelijkheid om scenario's volledig toe te passen in de verschillende bouwblokken. In Tabel 4-8 wordt weergegeven wat de maximale variant is die per bouwblok nog toegepast kan worden.

Tabel 4-8. Het maximale scenario dat voor de verschillende onderdelen in het plangebied toegepast kan worden.

Ontwikkellocatie	Scenario +	Scenario ++	Scenario +++
Busstation	x (produceert geen afvalwater)		
Blok B1.1 & B1.2	x (planfase te ver gevorderd voor ++/+++)		
Blok C5	x	x (planfase te ver gevorderd voor +++)	
Blokken C1 - C4	x	x	x
Openbaar gebied (incl. Borgstede)	x (produceert geen afvalwater)		



Figuur 4-8. Schematische weergave van de implementatie van scenario +++.

#### 4.3.1 Scenario +

In dit scenario wordt alleen het concept Blauw geïmplementeerd. Hierbij wordt hemelwater uit het gehele plangebied verzameld en na zuivering opgeslagen in de OWB. Dit water wordt toegepast voor irrigatie van het groen (dak, gevel, openbare ruimte) in het gehele plangebied. Daarmee vervalt de vraag naar drinkwater voor irrigatiedoeleinden. In bouwblokken C1 – C5 kan het opgevangen water worden toegepast voor toiletspoeling, waardoor een verdere drinkwaterbesparing gerealiseerd wordt. In blok B1 kan deze maatregel niet meer worden geacommodeerd.

Wanneer dit scenario wordt geïmplementeerd betekent dit het volgende (alle waterhoeveelheden zijn volumes per jaar tenzij anders vermeld):

- 17.480 m<sup>3</sup> hemelwater beschikbaar voor infiltratie in OWB
- 8500 m<sup>3</sup> (maximaal) besparing drinkwater door vervanging irrigatievraag door (her)gebruik hemelwater
- Voor blokken C1 - C5 worden 1463 bewoners verwacht. Bij (her)gebruik van water uit de OWB voor toiletspoeling is voor deze bouwblokken (bij gebruik van klassieke toiletten) 18.480 m<sup>3</sup> water nodig. Ongeveer 50% hiervan kan gedekt worden vanuit het water dat via dit scenario beschikbaar komt.

- Met het hemelwater dat via dit scenario beschikbaar wordt 16% van de drinkwatervraag in het totale plangebied bespaard t.o.v. een situatie zonder opslag en (her)gebruik van hemelwater en zonder waterbesparende maatregelen maar met maximaal oppervlak aan groene gevels. Dit komt overeen met 20,8 L/persoon/dag
- Wanneer waterbesparing wordt doorgevoerd zoals beschreven in scenario +++, neemt de vraag naar laagwaardig water af met ongeveer 8000 m<sup>3</sup> door de gebruikte combinatie van vacuümtoilet en keukenvermaler (15 L/pp/dag i.p.v. 35 L/pp/dag verbruik in blokken C1-C4). In dit scenario kan het hemelwater aan vrijwel de volledige behoefte voorzien (92%) in het geval van maximaal gebruik van groene gevels en zelfs volledig wanneer er een kleiner of geen groene gevel oppervlak wordt gerealiseerd. Wanneer waterbesparende toiletten (bijvoorbeeld vacuümtoiletten) zouden worden toegepast in combinatie met scenario Blauw is er mogelijk voldoende hemelwater beschikbaar om volledig te voorzien in de vraag voor laagwaardig gebruik. In de verdere beschouwing van dit scenario is echter uitgegaan van conventioneel sanitair zijn specifieke waterbesparende maatregelen.
- De ondergrondse waterberging is essentieel omdat vraag en aanbod niet in de tijd samenvallen, en de buffercapaciteit van de OWB essentieel is om een betrouwbaar wateraanbod te creëren.

### Kosten-Baten

#### Kosten:

- 975-1300 k€ CAPEX (excl.: leidingwerk voor in pandige distributie laagwaardig water, nazuivering voor Fe/Mn verwijdering)
- 15 – 20 k€/jaar OPEX

#### Baten:

- 17.480 m<sup>3</sup> drinkwaterbesparing (t.w.v. 19,4 k€/jaar)

### Ruimtebeslag

- 150 m<sup>2</sup>, waarvan 120 m<sup>2</sup> bovengronds (natuurlijk filter, voordrukbuis) de rest ondergronds en toegankelijk via putdeksels.

### Risico's:

- Bij gebruik van behandeld water voor irrigatiedoeleinden en/of toiletspoeling gelden microbiologische criteria. Het systeem dient zo ontworpen te worden dat er geen microbiologisch risico kan ontstaan.
- Besmettingsgevaar drinkwater: ten behoeve van in pandig gebruik van water uit de OWB is de aanleg van een separaat leidingnet vereist. Bij het gebruik van meerdere leidingnetten naast elkaar bestaat het risico op kruisverbindingen, en daardoor besmettingsgevaar voor het drinkwaternet. Dit risico wordt verkleind door gebruik te maken van leidingen met duidelijke kleurmarkeringen, desondanks kan het maken van kruisverbindingen nooit geheel worden uitgesloten.
- In geval van technische storing mag er geen wateroverlast (piekbuien) of watergebrek (laagwaardig gebruik) optreden. Het ontwerp (2 putten en maximaal gebruik van passieve componenten) minimaliseert dit risico. Desondanks dient het rioolstelsel voldoende gedimensioneerd te zijn als terugval optie indien de zuivering niet functioneert en dient een drinkwateraansluiting van voldoende capaciteit beschikbaar te zijn om het plangebied in de volledige laagwaardige + hoogwaardige vraag te voorzien.

### Onzekerheden en openstaande vragen:

#### Waterkwantiteit

- Omdat het groenplan voor de openbare ruimte en het groenontwerp (binnentuinen, gevels) voor de bouwblokken nog niet definitief zijn, is de watervraag, en daarmee de besparing, door vervanging van drinkwater voor deze toepassing nog onzeker.

### Waterkwaliteit

- De kwaliteitskenmerken van het hemelwater dat van de verharde oppervlaktes in het openbare gebied afstroomt zijn niet bekend. De dimensionering van de natuurlijke zuivering zal in de definitieve ontwerpfase bepaald moeten worden op basis van daadwerkelijke informatie over de waterkwaliteit, opdat gegarandeerd wordt dat aan de richtlijnen voor infiltratie wordt voldaan. Ook dient zeker gesteld te worden dat zich in het afstromende hemelwater geen verontreinigingen bevinden die in de natuurlijke zuivering niet afdoende verwijderd worden. Het voldoen aan richtlijnen voor infiltratie dient in samenspraak met het bevoegd gezag vastgesteld te worden.
- Bij gebruik van behandeld afvalwater voor irrigatiedoeleinden en/of toiletspoeling gelden microbiologische criteria. De OWB dient zo ontworpen te worden dat voldoende verblijftijd voor reductie in pathogenen wordt bereikt. Mogelijk dient ook een nazuivering gericht op desinfectie geïnstalleerd te worden, bijvoorbeeld een desinfectie met UV-straling. Dit risico en de benodigde maatregelen dienen nog in kaart gebracht te worden.

### Zuivering

- Afhankelijk van het ontwerp van het irrigatiesysteem is het meer of minder gevoelig voor verstopping. Indien er risico is op verstopping, dient een nazuivering van het onttrokken water uit de OWB toegevoegd te worden om ijzer en mangaan te verwijderen. Een dergelijke zuivering (beluchtingsstap) kan in de watertechnische ruimte worden ondergebracht. De noodzaak en kosten van nazuivering dienen onderzocht te worden.
- Bij in pandig hergebruik dient in ieder geval de bovengenoemde nazuivering geïmplementeerd te worden.

### Geohydrologisch

- De precieze configuratie van de OWB moet verder worden uitgewerkt. Belangrijke afwegingen hierbij zijn het toepassen van één of twee putten, en het gebruik van een vaste onttrekkingsput en infiltratieput (ASTR-systeem).
- Voordat de OWB wordt aangelegd, is het aan te bevelen om een proefboring te doen tot in het tweede watervoerende pakket om de bodemopbouw en grondwaterkwaliteit ter plaatse exact in beeld te brengen. Deze put kan later, als de OWB is gerealiseerd, tevens worden ingericht als waarnemingsput.
- Tevens is het aan te bevelen om de grondwaterstroming op de projectlocatie te verifiëren. Dit kan door in drie (bestaande of nieuwe) peilbuizen in driehoekopstelling gedurende enige tijd (bijvoorbeeld een jaar) de stijghoogte in het beoogde watervoerende pakket handmatig of met loggers te meten. Door de metingen uit de drie peilbuizen te vergelijken, kunnen de stromingsrichting en de stroomsnelheid van het grondwater worden afgeleid. Aanvullend op grondwaterstandsmetingen is het raadzaam om door middel van een modelstudie nader onderzoek te doen naar eventuele interferentie met andere grondwatergebruikers in hetzelfde watervoerende pakket.
- Er dient een effectenstudie naar interferenties van de OWB met ander gebruik van de ondergrond (o.a. WKO's) uitgevoerd te worden.
- Omdat wateraanbod en vraag niet gelijkmatig over het jaar verdeeld zijn, is te verwachten dat er eerst water in de OWB opgeslagen dient te worden alvorens onttrekking kan beginnen, om netto onttrekking te voorkomen. Zowel water aanbod als watervraag zullen door de gefaseerde realisatie van de bouwblokken stapsgewijs toenemen. Het juiste proces voor het in bedrijf stellen is afhankelijk van de uiteindelijke gekozen systeemconfiguraties, en dient op basis van de hydrologische omstandigheden en het definitieve ontwerp voor het plangebied, alsmede de realisatie van de bouwblokken door de tijd, vastgesteld te worden.

### Governance

- Welke partij wordt verantwoordelijk voor onderhoud en beheer van de installatie? Willen de partijen actief in het plangebied (gemeente, projectontwikkelaars) dit in eigen beheer nemen, of wordt dit aan een marktpartij uitbesteed?
- In scenario+ (nog zonder in pandige waterbesparende maatregelen) is er in natte jaren mogelijk meer hemelwater beschikbaar dan nodig voor laagwaardig gebruik. Om het ruimtebeslag van de OWB te beperken (bij netto infiltratie neemt deze jaarlijkse in omvang toe) kan het nodig zijn het overschot aan regenwater/gezuiverd niet geïnfiltrerd wordt in de OWB. Er bestaan verschillende opties om om te gaan met dit overschot. Zo kan het aan maaiveld of in het eerste watervoerende pakket te geïnfiltrerd worden (aanvulling van het tekort aan natuurlijke infiltratie in de bebouwde omgeving) of het kan naar oppervlaktewater geloosd worden. De bestemming en de daarvoor geldende lozingsseisen dienen te worden bepaald.

### 4.3.2 Scenario ++

In dit scenario worden de oplossingen Blauw en Lichtgrijs gecombineerd geïmplementeerd. Hierbij wordt hemelwater uit het gehele plangebied verzameld en na zuivering opgeslagen in de OWB. Dit water wordt toegepast voor irrigatie van het groen (dak, gevel, openbare ruimte) in het gehele plangebied. Daarnaast wordt in de blokken B1 en C5 gescheiden opvang van douchewater (lichtgrijs) gerealiseerd. Dit water wordt gezuiverd (Phytoparking) en toegevoegd aan de waterzuivering uit de oplossing Blauw alvorens het in de OWB wordt geïnfiltrerd.

Evenals in scenario + wordt hiermee de vraag naar drinkwater voor irrigatiedoeleinden volledig vervangen alsmede de vraag naar water voor toiletspoeling in bouwblokken C1 – C5. Bij de realisatie van dit scenario is er echter sprake van een overschot aan beschikbaar water ( $17.480 \text{ m}^3 + 23.000 \text{ m}^3$ ) en de maximale behoefte ( $8500 \text{ m}^3 + 18.480 \text{ m}^3$ ). Slechts wanneer andere toepassingen worden toegevoegd, kan het beschikbare water effectief worden benut. Hierbij is de wasmachine, met een verbruik van 14 L/pp/dag (Vewin, 2017) de meest logische kandidaat. Dit loopt daarmee op 7500 m<sup>3</sup> per jaar voor C1 – C5. Ook kan gedacht worden aan gebruik van water voor irrigatiedoeleinden buiten het plangebied (transport via tankwagens).<sup>10</sup>

Wanneer dit scenario wordt geïmplementeerd betekent dit het volgende (alle waterhoeveelheden zijn volumes per jaar tenzij anders vermeld):

- $17.480 \text{ m}^3$  hemelwater en  $23.000 \text{ m}^3$  lichtgrijs water beschikbaar voor infiltratie in OWB
- $8500 \text{ m}^3$  (maximale) besparing drinkwater door vervanging irrigatievraag door (her)gebruik hemelwater
- Bij (her)gebruik van water uit de OWB voor toiletspoeling in C1 – C5 is (bij gebruik van klassieke toiletten)  $18.480 \text{ m}^3$  water nodig.
- Bij (her)gebruik van water uit de OWB voor wasmachines in C1 – C5 is  $7500 \text{ m}^3$  water nodig.
- Met het gecombineerde laagwaardige gebruik is in dit scenario voor het gehele plangebied, inclusief groen, ongeveer  $34.480 \text{ m}^3$  drinkwater te besparen. Dit komt overeen met 32% van de drinkwatervraag in de situatie zonder opslag en (her)gebruik van hemelwater en zonder waterbesparende maatregelen. Dit komt overeen met gemiddeld 41 L/persoon/dag.
- Doordat de beschikbaarheid van hemelwater in de tijd niet stabiel is (overschot in de winter, lange droge periodes in de zomer), is de beschikbaarheid van lichtgrijs water positief om een continue aanvoer van water voor de zuivering en infiltratie in de OWB te kunnen realiseren.

<sup>10</sup> Voor gebruik buiten het plangebied, bijv. via tankwagens, zal extra infrastructuur nodig zijn, zoals een voorraadbuffer, omdat het debiet dat met een onttrekkingsput voor de OWB gehaald wordt (zie bijlage III) onvoldoende is om in korte tijd een tankwagen te kunnen vullen.

### Kosten-Baten

#### Kosten:

- 1215-1750 k€ CAPEX (excl.: leidingwerk voor in pandige distributie laagwaardig water, excl. nazuivering voor Fe/Mn verwijdering, excl. aanvullende zuivering voor in pandig gebruik, zoals UV-desinfectie)
- 20 – 35 k€/jaar OPEX

#### Baten:

- 34.480 m<sup>3</sup> drinkwaterbesparing (t.w.v. 38 k€/jaar) t.o.v. 17.480 m<sup>3</sup> drinkwaterbesparing (t.w.v. 19,4 k€/jaar) bij alleen implementatie van scenario+

### Ruimtebeslag

- 670 m<sup>2</sup>, waarvan 120 m<sup>2</sup> bovengronds (natuurlijk filter, voordrukbus) de rest ondergronds en toegankelijk via putdeksels.

### Risico's:

#### Aanvullend op scenario+:

- Risico van besmetting. Het opvangen van lichtgrijs water uit de gebouwen gaat gepaard met een risico van besmetting met fecaliën en humane pathogenen. Dit kan ontstaan door onjuist gebruik van douche en bad en/of verkeerde aansluiting van leidingen, maar zal ook in geval van normaal gebruik (in geringe mate) plaatsvinden. Het systeem dient zo ontworpen te worden dat er hierdoor geen microbiologische risico's kunnen ontstaan.

### Onzekerheden en openstaande vragen:

#### Aanvullend op scenario+:

#### *Waterkwaliteit*

- De kwaliteitskenmerken van het lichtgrijze water zijn niet bekend. De dimensionering van de natuurlijke zuivering zal in de definitieve ontwerpfase bepaald moeten worden op basis van daadwerkelijke informatie over de waterkwaliteit en fluctuaties daarin, opdat gegarandeerd wordt dat aan de richtlijnen voor infiltratie wordt voldaan.

#### *Zuivering*

- De kwaliteit van verwijdering voor specifieke stoffen in douchewater zoals parabenen (zonnebrand en andere crèmes), triclosan en andere desinfecterende stoffen is niet bekend. En ook van gangbare micro-organismen zoals coliformen, Enterococci, maar ook van opportunistische pathogenen als Ps. Aeruginosa of anderen. Dit kan voorafgaand aan installatie in een testlocatie onderzocht worden
- Bij gebruik van behandeld afvalwater gelden microbiologische criteria. De OWB dient zo ontworpen te worden dat voldoende verblijftijd voor reductie in pathogenen wordt bereikt. Mogelijk dient ook een nazuivering gericht op desinfectie geïnstalleerd te worden. Dit risico en de benodigde maatregelen dienen nog in kaart gebracht te worden.
- Voor ondergrondse systemen is het belangrijk dat het oppervlak regelmatig kan opdrogen. Daarom is een locatie in de volle zon te verkiezen (Hoffmann et al., 2011). In het huidige concept is de locatie voor de Phytoparking, die aan de noordzijde is voorzien, mogelijk te schaduwrijk door de geplande hoogbouw. Hier dient in het definitieve ontwerp aandacht aan gegeven te worden.

#### *Governance*

- Welke partij wordt verantwoordelijk voor onderhoud en beheer van de installatie? Willen de partijen actief in het plangebied (gemeente, projectontwikkelaars) dit in eigen beheer nemen, of wordt dit aan een marktpartij uitbesteed?
- In scenario ++ (nog zonder in pandige waterbesparende maatregelen) is er meer hergebruikt water beschikbaar dan nodig voor laagwaardige gebruik. Om het ruimtebeslag van de OWB te beperken (bij

netto infiltratie neemt deze jaarlijks in omvang toe) kan het nodig zijn het overschot aan regenwater/gezuiverd water te lozen. De bestemming en de daarvoor geldende lozingseisen dienen te worden bepaald.

### 4.3.3 Scenario +++

In dit scenario worden de oplossingen Blauw, Lichtgrijs en Grijs+Zwart gecombineerd geïmplementeerd. Hierbij wordt hemelwater uit het gehele plangebied verzameld en na zuivering opgeslagen in de OWB. Dit water wordt toegepast voor irrigatie van het groen (dak, gevel, openbare ruimte) in het gehele plangebied. Daarnaast wordt in de blokken B1 en C5 gescheiden opvang van douchewater (lichtgrijs) gerealiseerd en voor C1 – C4 opvang van grijs en zwart water. Voor de berekeningen wordt alleen het grijze en zwarte water in de decentrale zuivering behandeld. Bovendien zijn vacuümtoiletten en keukenvermalers geïmplementeerd, en wordt het lichtgrijze water uit B1 en C5 volgens de methoden in scenario ++ behandeld.

Zoals eerder beschreven is er geen vraag in het plangebied voor het extra water wanneer het wordt ingezet voor laagwaardig gebruik, onder het voorbehoud dat de efficiëntie van inzameling en terugwinning afdoende is. Het gezuiverde water, dat van hoge kwaliteit is na nanofiltratie, kan worden gebruikt voor verder aanvulling van de OWB, inzet buiten het plangebied of ter beschikking worden gesteld voor decentrale drinkwaterproductie (zie hoofdstuk 5).

Wanneer dit scenario volledig wordt geïmplementeerd betekent dit het volgende (alle waterhoeveelheden zijn volumes per jaar tenzij anders vermeld):

- 17.480 m<sup>3</sup> hemelwater, 23.000 m<sup>3</sup> lichtgrijs water en 47.000 m<sup>3</sup> behandeld grijs+zwart water en beschikbaar voor infiltratie in OWB en (her)gebruik.
- 8500 m<sup>3</sup> (maximale) besparing drinkwater door vervanging irrigatievraag door (her)gebruik hemelwater
- Bij (her)gebruik van water uit de OWB voor toiletspoeling (klassieke toiletten in C5, vacuüm C1 - C4) en keukenvermalers is 10.480 m<sup>3</sup> water nodig.
- Bij (her)gebruik van water uit de OWB voor wasmachines in C1 – C5 is 7500 m<sup>3</sup> water nodig.
- Met het gecombineerde laagwaardige gebruik is in dit scenario 26.480 m<sup>3</sup> drinkwater te besparen. Deze vraag kan geheel worden afgedekt door de maatregelen in scenario ++.
- Er is in het plangebied nog geen bestemming voor het gezuiverde grijze+zwarte water uit C1 – C4. In de decentrale zuivering grijs+zwart is als nazuiveringsstap reeds nanofiltratie voorzien. Hierdoor ontstaat een waterstroom die mogelijk geschikt is als bron voor (decentrale) productie van drinkwater. Gezamenlijk met het hemelwater en lichtgrijze water is er bij realisatie van decentrale drinkwaterproductie uit het afvalwater van C1 – C4 een totale capaciteit die in 85% van de drinkwaterbehoefte zou kunnen voldoen. Verdere waterbesparende maatregelen zorgen ook voor een lager aanbod van afvalwater, waardoor het potentieel voor besparing door ook gereduceerd wordt.
- Doordat de beschikbaarheid van grijs en zwart water in de tijd min of meer stabiel is, is de buffercapaciteit van de OWB niet nodig is om een betrouwbaar wateraanbod te creëren.

### Kosten-Baten

Kosten:

- 3885 – 4720 k€ CAPEX (excl.: leidingwerk voor in pandige distributie laagwaardig water, excl. nazuivering voor Fe/Mn verwijdering, excl. aanvullende zuivering voor in pandig gebruik, zoals UV-desinfectie). Dit is inclusief kosten voor in pandige onderdelen zoals meerkosten vacuümtoiletten, vacuümleidingen en keukenvermalers.
- 85 – 100 k€/jaar OPEX



Baten:

- 69 k€ jaar bestaande uit drinkwaterbesparing (zie scenario++), besparing inzameling GFT en warmtelevering (aan WKO)

N.B.: met zuivering in een grootschalige centrale RWZI zijn per m<sup>3</sup> lagere kosten verbonden van 0,38 - 0,85 €/m<sup>3</sup> (STOWA & Rioned, 2015) waarin zowel CAPEX als OPEX verdisconteerd zijn. Op basis van de bovenstaande berekening zijn de kosten 1,81 - 2,13 €/m<sup>3</sup> op basis van OPEX kosten. Dit is in lijn met hogere efficiëntie voor die met schaalvergroting in waterzuivering gepaard gaat, zie ook Hofman-Caris et al. (2019) en Hofman-Caris & De Waal (2018).

### Ruimtebeslag

- 670 m<sup>2</sup>, waarvan 120 m<sup>2</sup> bovengronds (natuurlijk filter, voordrukbus) de rest ondergronds en toegankelijk via putdeksels voor de hemelwater en lichtgrijs waterzuivering.
- 25 m<sup>2</sup> + 204 m<sup>2</sup> voor technische ruimtes vacuümsysteem en zuivering (bijv. in pandig in kelderruimte te accommoderen).

### Risico's:

Aanvullend op scenario ++:

- Het opvangen van grijs en zwart water uit de gebouwen gaat gepaard met een risico van besmetting met fecaliën en humane pathogenen bij blootstelling aan het afvalwater of bij technische storing van de zuivering. Het systeem dient zo ontworpen te worden dat er hierdoor geen microbiologisch risico kan ontstaan. Er dient een passend monitoringsprogramma opgesteld te worden om het functioneren van het systeem zeker te stellen.
- Bij de vergisting ontstaat biogas, een licht ontvlambaar gas. De productie en opslag hiervan leidt tot verhoogd brand- en explosiegevaar.

### Onzekerheden en openstaande vragen:

Aanvullend op scenario++:

#### Governance

- Welke partij wordt verantwoordelijk voor onderhoud en beheer van de installatie? Willen de partijen actief in het plangebied (gemeente, projectontwikkelaars) dit in eigen beheer nemen, of wordt dit aan een marktpartij uitbesteed? Het onderhoud van de decentrale zuivering in scenario +++ is arbeidsintensiever dan de componenten uit scenario's + en ++, vraagt meer specialistische kennis, en gaat gepaard met het verbruik van chemicaliën en de producten van reststoffen. Uitbesteding van onderhoud en beheer aan een specialistische partij is daarom aan te raden. Zo geeft bijvoorbeeld [www.saniwijzer.nl](http://www.saniwijzer.nl) aan dat de waterzuivering professioneel beheer vergt (Saniwijzer, 2022).
- In de waterzuivering, specifiek bij de nanofiltratie, ontstaat een concentraatstroom. Hoe hiermee omgegaan dient te worden is afhankelijk van de samenstelling van deze afvalstroom. Een oplossing hiervoor dient onderzocht te worden.

#### Zuivering

- Door het hoogwaardige karakter is het geproduceerde water mogelijk geschikt als bron voor productie van drinkwater. Welke zuivering nodig is om hieruit decentraal water van drinkwaterkwaliteit te produceren en welke maatregelen nodig zijn om de robuustheid en kwaliteit hiervan in de decentrale voorziening te kunnen garanderen dient in vervolgonderzoek belegd te worden. Ook dient onderzocht te worden voor welke toepassingen dit water ingezet kan worden op basis van geldende wet- en regelgeving en welke eventuele aanpassingen of ontheffingen nodig zijn om dit water daadwerkelijk als drinkwater terug te leveren in het plangebied.

- Toekomstig onderzoek naar zuivering, gericht op het gebruik ervan als bron voor drinkwater of voor andere (industriële) toepassingen waar nu drinkwater voor wordt gebruikt, dient uit te wijzen of er gebruik gevonden kan worden voor het beschikbare water.

#### Risicomanagement

- Door de schaarse buitenruimte dient de decentrale zuivering in de blokken C1 – C4 ingepast te worden. De inpassing van de technische ruimte in de bouw, op een veilige en voor onderhoud goed toegankelijke manier dient nader uitgewerkt te worden.

#### 4.3.4 Vergelijk van de scenario's

In hoofdstuk 2 zijn de doelstellingen voor het waterconcept gedefinieerd. Deze omvatten: (i) het voorkomen van wateroverlast tijdens piekbuien, (ii) het reduceren van hittestress en het verhogen van de belevingswaarde door het implementeren van een (blauw)groene omgeving, en (iii) het reduceren van het drinkwatergebruik in het gebied door het gebruik van hemelwater en hergebruik van afvalwater om in de waterbehoefte te voorzien. Er zijn drie scenario's uitgewerkt, waarin een combinatie van oplossingen (OWB, blauw, lichtgrijs, grijs+zwart) worden toegepast. In Tabel 4-9 wordt weergegeven hoe scenario's bijdragen aan de doelstellingen en welke oplossingen per scenario worden toegepast.

Tabel 4-9. Relatie tussen de doelstellingen in het plangebied, de ontwikkelde oplossingen en de ontwikkelde scenario's.

	Voorkomen wateroverlast	Reduceren hittestress	Hogere belevingswaarde door blauw-groene omgeving	Reduceren drinkwatergebruik door hergebruik hemelwater	Reduceren drinkwatergebruik door hergebruik afvalwater
<b>Oplossing</b>					
OWB				x	x
Blauw	x	x	x	x	
Lichtgrijs					x
Grijs+zwart					x
<b>Scenario</b>					
+	x	x	x	x	
++	x	x	x	x	x
+++	x	x	x	x	x

Om de scenario's te kunnen vergelijken zijn in Tabel 4-10 de kentallen voor de waterbesparing, de kosten en de baten samengevat. Deze vergelijking laat zien dat scenario's + en ++ beide bijdragen aan een besparing aan drinkwater. De extra investering voor scenario ++ ten opzichte van scenario + is beperkt en realiseert een besparing van gelijke omvang. Het implementeren van scenario ++ lijkt dan ook een logische keuze wanneer een besluit wordt genomen minimaal scenario + te implementeren. Scenario +++ vergt daarentegen een zeer grote extra investering zonder dat er een directe besparing tegenover staat. Zoals hierboven aangegeven is er geen direct gebruik voor het extra beschikbare water uit dit scenario binnen het plangebied. Een keuze voor dit scenario dient daarom gemaakt te worden indien het opdoen van ervaring met decentrale zuivering en de voorbeeldfunctie van het gebied als duurzaamste binnenstad de extra kosten volgens de betrokken stakeholders kunnen rechtvaardigen.

Tabel 4-10. Kentallen waterbalans en kosten/baten op jaarbasis voor scenario's +, ++ en +++ vergeleken.

		Scenario +	Scenario ++	Scenario +++
Behoefte	Groen	8500 m <sup>3</sup>	8500 m <sup>3</sup>	8500 m <sup>3</sup>
	Toiletspoeling*	18.480 m <sup>3</sup>	18.480 m <sup>3</sup>	10.480
	Drinkwater (minus toiletspoeling)	90.350 m <sup>3</sup>	90.350 m <sup>3</sup>	90.350 m <sup>3</sup>
Besparing drinkwater		17.480 m <sup>3</sup>	34.480 m <sup>3</sup>	26.480 m <sup>3</sup> (laagwaardig gebruik)**
Kosten (CAPEX)		975 – 1300 k€	1215 – 1750 k€	3885 – 4720 k€
Kosten (OPEX)		15 – 20 k€	20 – 35 k€	85 – 100 k€
Baten (financieel)		19 k€	38 k€	69 k€

\*: bij gebruik reguliere toiletten, in het geval van waterbesparende toiletten wordt dit gereduceerd tot 2640 m<sup>3</sup> jaarlijks.

\*\* : door de vacuümtoiletten die in dit scenario worden toegepast is de jaarlijkse drinkwaterbehoefte lager voor laagwaardig gebruik lager, waardoor ook de besparing lager uitvalt. Wanneer het gezuiverde grijze+zwarte water als drinkwater ingezet zou kunnen worden zouden de besparing en de baten toenemen.

## 5 Conclusies en vervolgstappen

De gemeente Nieuwegein beoogt bij de herontwikkeling van het plangebied City West de realisatie van een duurzame bebouwing, waarin ruimte is voor blauw en groen. In deze rapportage is het waterconcept uitgewerkt. Met dit concept worden verschillende doelen nagestreefd. Deze zijn het voorkomen van wateroverlast tijdens piekbuien, het reduceren van hittestress en het verhogen van de belevingswaarde door het implementeren van een (blauw)groene omgeving, en het reduceren van het drinkwatergebruik in het gebied door het gebruik van hemelwater en hergebruik van afvalwater om in de waterbehoefte te voorzien. Er zijn drie oplossingen uitgewerkt (blauw, lichtgrijs, grijs+zwart) die ieder voor het opvangen, vasthouden en zuiveren van een specifieke waterstroom toegepast kunnen worden. Vervolgens zijn deze oplossingen gecombineerd in drie scenario's (+, ++ en +++), die in toenemende mate water opvangen en beschikbaar maken voor lokaal hergebruik.

In de oplossing voor Blauw (hemelwater), wordt het water opgevangen op blauwgroene daken en in een openbaar gebied met een hoge buffercapaciteit. De toegepaste technieken zijn in staat een piekbui van 70 mm in 1 uur op te vangen en daarbij wateroverlast te voorkomen. Het opgevangen water wordt op natuurlijke wijze gezuiverd en in een ondergrondse waterberging opgeslagen. Vanuit de berging kan het water voor gebruik voor irrigatie van groen en toiletspoeling worden ingezet. De ondergrondse waterberging zorgt voor het in balans brengen tussen vraag en aanbod door water in natte perioden op te slaan zodat het beschikbaar gemaakt kan worden in perioden van droogte. De oplossing voor Blauw kan op het gehele plangebied, bestaande uit bouwblokken B1 en C1 – C5 plus het openbare gebied en het busstation toegepast worden, en de maximale effectiviteit wordt bereikt als alle opties verspreid over het gehele plangebied ook daadwerkelijk toegepast worden. In scenario + wordt deze oplossing blauw toegepast in combinatie met een ondergrondse waterberging, waarmee voorzien kan worden in de volledige waterbehoefte voor de groenvoorziening en een groot gedeelte van de behoefte aan water voor laagwaardig gebruik (toiletspoeling) wanneer geen waterbesparende maatregelen worden toegepast. Zouden waterbesparende toiletten worden toegepast, volstaat scenario + mogelijk om te voldoen in de gehele watervraag voor laagwaardig gebruik.

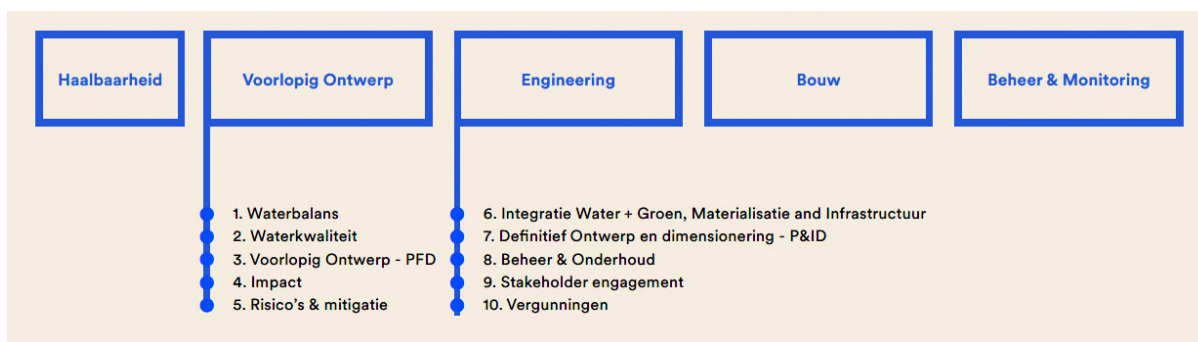
In de oplossing voor lichtgrijs water wordt het douche- en badwater uit de bouwblokken B1 en C5 gescheiden opgevangen en via een natuurlijke zuivering behandeld. Dit maakt het water geschikt voor opslag in de ondergrondse waterberging, en daarmee wordt de hoeveelheid water voor (her)gebruik meer dan verdubbeld. Bij gecombineerde implementatie van deze oplossing met de oplossing blauw (scenario ++ ) komt er ruim voldoende water beschikbaar om zowel in de watervraag van het groen en in de volledige waterbehoefte voor de toiletten in alle bouwblokken te voorzien. Er blijft dan voldoende water over om in te zetten voor andere minder hoogwaardige toepassingen, zoals wasmachines. Voor zowel het gebruik voor toiletspoeling als voor deze aanvullende toepassingen dient echter nog onderzocht te worden aan welke kwaliteitseisen het water hiervoor dient te voldoen en of er nog nazuivering nodig is na onttrekking van het water uit de ondergrondse waterberging.

In de oplossing voor grijs+zwart water wordt decentrale behandeling van al het afvalwater uit C1 – C4 beschreven. In deze oplossing worden deze grijze en zwarte waterstromen uit deze bouwblokken in het plangebied gezuiverd; het grijze afvalwater in een actief slib reactor en het zwarte water in een vergister. Nazuivering vindt plaats via nanofiltratie. Naast gezuiverd water wordt hierbij biogas en warmte geproduceerd. Om het proces zo efficiënt mogelijk te laten verlopen wordt voorgesteld om vacuümtoiletten toe te passen en GFT afval via keukenvermalers aan de zwart water stroom toe te voegen, opdat deze geconcentreerder wordt waardoor de vergisting beter plaats kan vinden. Daarnaast leveren deze maatregelen ook een besparing in waterverbruik op. In scenario +++ is beschreven dat deze oplossing wordt toegepast in combinatie met de oplossingen blauw en lichtgrijs. Daarbij is opgemerkt dat er in het plangebied geen laagwaardige bestemming bestaat voor het geproduceerde water. De

betrokken waterketenpartners, Gemeente Nieuwegein, HDSR en Vitens, hebben echter interesse getoond in het verkennen van de kansen voor decentrale sanitatie en mogelijk het opwerken van het geproduceerde water voor hoogwaardige toepassing via een decentrale drinkwaterzuivering. Deze oplossing, en het daaraan gekoppelde scenario+++ dient vanuit deze interesse bekeken te worden, omdat de kosten voor het decentraal zuiveren van het afvalwater per m<sup>3</sup> substantieel hoger liggen dan voor centrale verwerking op de RWZI.

## Vervolgstappen

De ontwikkelde concepten en de beschreven scenario's zijn gebaseerd op voorlopige informatie over de ontwikkelingen in het plangebied. Deze dienen als argumentatie voor het maken van keuzes in de te implementeren waterconcepten. Bij groen licht op één of meerdere van de concepten uit dit voorlopig ontwerp is het noodzakelijk dat er in de vervolgfase richting het definitief ontwerp (figuur 5.1 – engineering fase) integraal met de geplande infrastructuur (o.a. groen, energie en verkeer) wordt ontworpen. Hierbij dient, afhankelijk van de keuzes en besluiten over het ontwerp van de bouwblokken en de openbare ruimte, inclusief het openbare groenplan, de waterbalans opnieuw geijkt te worden. Op basis daarvan dient een definitief ontwerp opgesteld te worden. Figuur 2-1 Figuur 5-1 geeft de belangrijkste te volgen stappen weer, waarbij punten 6 – 10 aandacht verdienen bij de verdere uitwerking.



Figuur 5-1. Schematische weergave processtappen om te komen tot realisatie van het waterconcept.

De volgende punten vragen om (verdiepend) onderzoek alvorens een definitief ontwerp voor het waterconcept opgesteld kan worden:

- In deze studie zijn berekeningen gemaakt op jaarlijkse watervolumes en de benodigde capaciteit gekoppeld aan het opvangen en bergen van piekbuien van 70mm in 1 uur. Omdat er gedurende een jaar sprake is van variaties, en er bijvoorbeeld ook achtereenvolgende grote buien kunnen voorkomen, dient een waterbalans (bij voorkeur op uurbasis) opgesteld te worden om te beoordelen of de dimensionering goed is. Hiermee kan een inschatting gemaakt worden voor welke situaties het ontwerp wel of niet werkt zoals verwacht.
- De ondergrondse waterberging is een essentieel onderdeel in de oplossingen voor blauw en lichtgrijs water. De voorstudie laat zien dat het naar verwachting mogelijk is een OWB in het plangebied te realiseren. Dit dient bevestigd te worden door (geo)hydrologisch onderzoek. Op basis daarvan kan een definitief ontwerp voor de ondergrondse waterberging worden opgesteld.
- In het ontwikkelen van het waterconcept is aangaande de waterbehoefte voor groen in het openbare gebied en groene gevels uitgegaan van een maximale vraag. De vraag dient op basis van een definitief groenontwerp voor het gebied en de bouwblokken bevestigd te worden. Bij een scenario waarin de vraag wezenlijk lager is, kan het implementeren van de oplossing blauw namelijk (bijna) voldoende zijn om aan de vraag voor groen en toiletspoeling te voorzien, zeker als er gebruik gemaakt wordt van

waterbesparende toiletten. Dit kan de keuze voor waterbesparing maatregelen in de woningen extra waardevol maken, en kan tegelijkertijd de relevantie van scenario++ verkleinen. Een definitief ontwerp voor deze onderdelen is daarom essentieel in de uitwerking van een definitief waterconcept.

- Uitwerken van de technische en gezondheidstechnische risico's die verbonden zijn met de verschillende oplossingen en het hergebruik van hemelwater en afvalwater in de beoogde toepassingen. Op technisch gebied dienen risico's m.b.t. bedrijfszekerheid en veiligheid voor bewoners en onderhoudspersoneel in kaart gebracht te worden. Met betrekking tot gezondheidstechnische risico's dient bevestigd te worden dat water uit de OWB geschikt is voor de toepassingen zonder het veroorzaken van gezondheidsrisico's en wat er eventueel aan extra (na)zuivering nodig is om dit te waarborgen. Hierin dienen ook de risico's van het aanleggen en gebruiken van een leidingnet voor gezuiverd water (paars) en mogelijke kruisaansluitingen met het reguliere drinkwaternet in de bouwblokken opgenomen te worden.
- De mogelijkheid om uit het water dat in de decentrale grijs + zwart zuivering wordt geproduceerd water van drinkwaterkwaliteit te produceren is benoemd. Onderzocht dient te worden aan welke kwaliteitseisen het water dient te voldoen om als bron voor (decentrale) drinkwaterproductie gebruikt te kunnen worden, welke additionele zuiveringstappen hiervoor eventueel nog nodig zijn en welke monitoring van de zuiveringsprestaties en waterkwaliteit nodig zijn om het water voor hoogwaardige toepassingen te mogen gebruiken.
- Bij de onderhouds- en beheerskosten zijn kosten voor monitoring opgenomen. Er is echter nog geen monitoringsplan opgesteld. Voor alle drie concepten dient een monitoringsplan opgesteld te worden waarmee bewaakt kan worden dat de technische installatie goed functioneert en dat de waterkwaliteit 1) voldoet aan kwaliteitseisen voor infiltratie in de OWB en 2) na onttrekking uit de OWB voldoet aan kwaliteitseisen voor de beoogde toepassingen.
- Onderhoud en beheer zijn nog niet belegd. Voor scenario's + en ++ kan gebruik gemaakt worden van de diensten van commerciële aanbieders die ook de watersystemen leveren, bij het decentrale concept voor grijs + zwart, in het bijzonder wanneer decentrale drinkwaterproductie nagestreefd wordt, zullen de traditionele waterketenpartners in rol in de governance moeten krijgen. Onderzocht dient te worden welke mogelijkheden hiertoe bestaan en welke voor- en nadelen de verschillende oplossingen hebben.
- Wanneer het water nodig is, wordt dit opgepompt uit de waterberging en geleverd aan het stedelijk groen en/of toiletspoeling (laagwaardige toepassing). Hiertoe dient een irrigatiesysteem en/of grijswatersysteem in de bouwblokken aangelegd te worden. De planning hiervan is afhankelijk van het groenplan en/of het besluit om het water voor toiletspoeling te gebruiken. Ontwerp van, en kosten voor, deze componenten zijn in deze studie niet geraamd.

## 6 Bronnen

Arden, S.; Ma, X. (2018) Constructed Wetlands for Greywater Recycle and Reuse: A Review. *Sci Total Environ.* 2018 Jul 15; 630: 587–599. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.218.

Gemeente Nieuwegein (2021) Afwegingskader Water circulair City west. Intern document.

Hoffmann, H., C. Platzer, M. Winker and E. von Muench (2011). Technology review of constructed wetlands- Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment Eschborn, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Hofman-Caris, C.H.M., Stofberg, S.F., van Alphen, H.J., de Waal, L. & van Huijgevoort, M.H.J. (2019). VO Radicaal nieuwe bronnen voor drinkwater. KWR Water Research Institute, rapport BTO2019.019.

Hofman-Caris, C.H.M. & de Waal, L. (2018). Regenwater als bron voor drinkwater; productiekosten en milieuaspecten. KWR Water Research Institute, rapport BTO2018.028

IWA (2019). Wetland Technology. Practical information on the Design and Application of Treatment Wetlands Scientific and technical Report No27. G. Langergraber, G. Dotro, J. Nivala, A. Rizzo and O. R. Stein. London, UK, IWA.

Provincie Zuid-Holland (2019) Convenant Klimaatadaptief Bouwen – Bijlage A.1 Programma van Eisen. <https://klimaatadaptatienederland.nl/?ActLbl=zuid-holland-convenant&ActItmIdt=216640> geraadpleegd op 26-04-2022.

Saniwijzer (2022) Saniwijzer – Nieuwe Sanitatie in de Praktijk. <https://www.saniwijzer.nl/technieken/verwerking-afvalwater/anaerobe-actiefslibsystemen/uasb-reactor>, geraadpleegd op 29-05-2022.

STOWA (2014a) Evaluatie Nieuwe Sanitatie Noorderhoek Sneek. STOWA Rapport 2014-38. ISBN 978.90.5773.656.8

STOWA (2014b) Ervaringen met de toegepaste technologie op de demo-site lemmerweg-oost in Sneek. STOWA Rapport 2014-W02.

STOWA (2015) Groene daken nader beschouwd. STOWA Rapport 2015-12. ISBN 978.90.5773.674.2

STOWA, Stichting Rioned (2015) Reductie hydraulische belasting RWZI. Rapportnummer 2015-05, ISBN 97 890 57736 60 5.

Van der Heijden, F. (1998) Duurzaam Stedelijk Waterbeheer: een vroege tussenbalans. *H2O* 1998(4), 14 – 15.

Van der Roest, E.; Cirkel, G.; Clevers, S.; Paalman, M. (2019) City Nieuwegein: klimaat adaptief en energieneutraal. KWR-rapport 2018.119.

Vewin (2017) Drinkwaterstatistieken 2017 – van bron tot kraan. <https://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Cijfers/Drinkwaterstatistieken-2017-NL.pdf>, geraadpleegd op 28-04-2022.

Vitens (2022). <https://www.vitens.nl/tarieven-en-voorwaarden>, geraadpleegd op 28-04-2022.

Zuurbier, K.; de Doelder, B.; Kok, W.; van Breukelen, B. (2019a) Preventing pluvial flooding and water shortages by integrating local aquifer storage and recovery in urban areas. 10<sup>th</sup> International symposium on managed aquifer recharge, Madrid, May 2019.

Zuurbier, K.; van Dooren., T. (2019) Urban Water Buffer Spangen: Resultaten. KWR-rapport 2019.111.

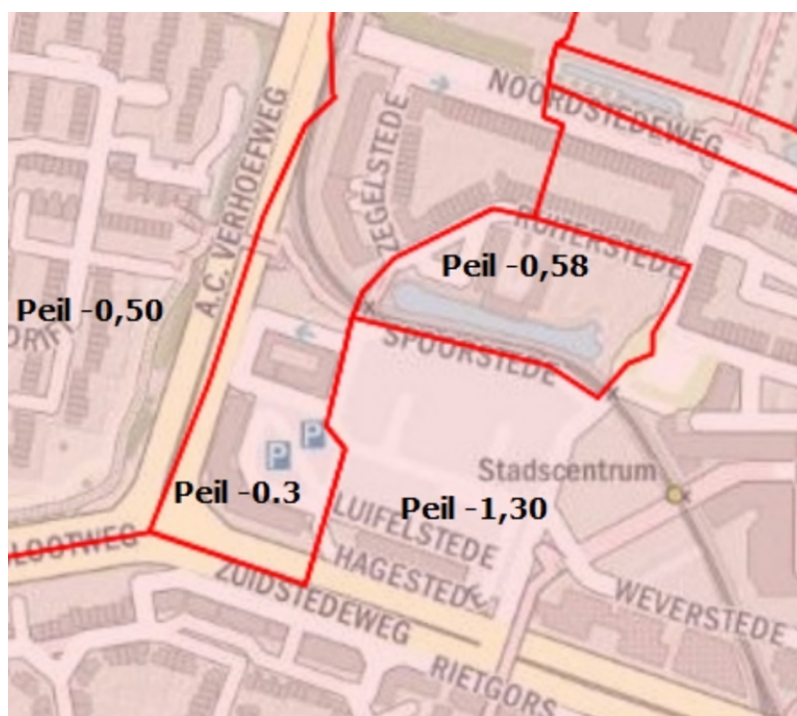
Zuurbier, K.; Paalman, M.; van Loon, A.; Stuyfzand, P.; Stofberg, S. (2019b) Ondergrondse Waterberging. STOWA Deltafact, <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/verzilting/ondergrondse-waterberging>, geraadpleegd op 29-04-2022.



# I Kentallen en randvoorwaarden plangebied

De gemeente Nieuwegein geeft voor de ontwikkeling van het plangebied de volgende achtergrondinformatie en randvoorwaarden mee.

- Het bestaande pand aan de Borgstede is aangesloten op een traditioneel rioolstelsel. Dit pand wordt vooralsnog aangesloten op de te realiseren ringleiding via een traditionele DWA en HWA-aansluiting.
- Er is geen voorkeurslocatie voor een eventuele overstort op de duikers in het gebied. Wel mag de overstort op duiker mag alleen uit hemelwater bestaan. Grijs en/of zwart water is niet toegestaan.
- Figuur I.3 geeft de huidige situatie plansituatie weergeven, inclusief de bestaande overstorten en leidingen voor de kolken die het hemelwater afvoeren rondom het gebied. Deze elementen dienen onveranderd opgenomen te worden in een definitief ontwerp voor de bouwblokken en de openbare ruimte. N.B.: Figuur I.3 is een coördinatietekening en de posities van de elementen kunnen in werkelijkheid iets afwijken.
- Grondwater: Er staat een peilbuis aan de Buitenstede. Voor wat betreft het grondwater dienen de ontwerpen te voldoen aan de droogleggingseisen en de streefwaarden voor ontwatering conform het GRP. Meetgegevens van deze peilbuis voor de periode juni '21 – apr. '22 worden weergegeven in figuur I.2. Waterpeilen rondom de locatie zijn weergegeven in Figuur I.1



Figuur I.1: De waterpeilen rondom de locatie zijn.





## **II Grafische samenvatting**

### **Ruimtelijk Concept Circulair Water**



# TKI Circulair Water City West, Nieuwegein.

Eindrappage Ruimtelijk Concept

# Eindrapportage Ruimtelijk Concept

Deelrapport TKI project Circulair Water Nieuwegein

DATUM: Mei 2022

VERSIE: Definitief

## Project Team:

Wilrik Kok, projectleider

Mary McGregor, Landschapsarchitect

Hamid Mojab, Water Process engineer

## Review:

Karina Peña

## Verantwoording

Deze activiteit is mede gefinancierd uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het ministerie van Economische Zaken en Innovatie. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze rapportage mag worden vervaelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteurs.





## Visie

**Steden hebben dorst, ze hebben water nodig voor alle stedelijke functies. Wat als vastgoedontwikkelaars de behoefte kunnen invullen om waterneutrale gebouwen te bouwen, of gemeentes toegang hebben tot schoon water om hun groen gezond en stad koel te houden? Met dit project zoeken we naar oplossingen die al deze uitdagingen oplossen en die toepasbaar zijn in de bestaande stad. Met verschillende technologieën vangen we water op waar het valt en stroomt, zodat we een oplossing bieden voor stedelijke wateroverlast en opkomende verontreinigingen. Door het regen- en afvalwater beschikbaar te**

**stellen voor hergebruik, bieden we ook een oplossing voor de effecten van droogte en zoetwaterbeschikbaarheid.**

**We zorgen voor voldoende zoetwater zodat vastgoed water-neutraal wordt en zodat de gemeente haar openbare ruimte duurzaam kan irrigeren. We koelen onze steden af door het groen te voorzien van ons aangevoerde water en voorkomen zo hittestress. En omdat deze systemen grotendeels op de natuur zijn gebaseerd, ondersteunen we de biodiversiteit in steden.**

**Kortom: met een groen systeem zorgen we voor voldoende water om onze steden groen, gezond en toekomstbestendig te houden.**



# Gemeente Nieuwegein wil haar stadscentrum City-West het duurzaamste centrum van Nederland maken. Water speelt hierin een belangrijke rol.

**Situatie:**

Een gebiedsontwikkeling en verschillende watertechnologieën.

**Trigger:**

De wens voor een groene en gezonde leefomgeving.

**Vraag:**

Hoe ontwerp je ruimtelijk geïntegreerde watertechnologie in een lopende stedelijke gebiedsontwikkeling?

## Samenvatting

Om een gebied toekomstbestendig te maken, is een integrale aanpak nodig tussen watertechnologie en ruimtelijk ontwerp. Zowel (diepe) ondergrondse als bovengrondse oplossingen kunnen elkaar versterken.

Tot voor kort voerden we water het liefst zo snel mogelijk af. Maar dat wordt anders. De klimaatadaptieve stad voert het water niet af, maar slaat overtollig water juist op. Zo is het beschikbaar in periodes van droogte, waarin de vraag naar water toeneemt. Hergebruik wordt daarnaast het nieuwe denken, ook in gebiedsontwikkelingen. Kortom: we gebruiken de stad als spons, met een paars leidingstelsel als nieuwe kleur voor de levering van “grijs water”

Het heeft voor de toekomstbestendigheid van een gebied de voorkeur om dit gedachtegoed al in de initiatiefase mee te nemen. Hiervoor zijn vier uitgangspunten samengevat die helpen de gedachtevorming en de procesaanpak te concretiseren.

- 1. De bodem als basis voor de openbare ruimte**  
Begin bij de bodem. Een gezonde bodem is de basis voor biodiversiteit, en zorgt er daarnaast voor dat het water makkelijk weg kan of dat het water kan worden opgeslagen.
- 2. Slim ontwerpen voor het maaiveld**  
Water kan je sturen en vertragen door natuurlijk verhang. Hierdoor houd je droge voeten.
- 3. Hybride: Groen, blauw en grijs**  
Een groene buitenomgeving heeft een gunstige invloed op het binnenklimaat van de gebouwen en op de mentale gesteldheid van de bewoners en/of gebruikers. Maar denk eraan dat natuurinclusieve ontwerpen ook veel water nodig hebben.
- 4. Beheer en onderhoud vroeg meenemen**  
Beheer en onderhoud bepalen de kwaliteit van groen-blauwe infra. Dat kan tijd- en arbeidsintensief zijn. Het installeren van slimme autonome systemen kan beheerders ontzorgen.

## Impact

**Mensen zijn het gelukkigst in groene steden met voldoende water. Het combineren van watertechnologieën levert daarnaast een groot aantal voordelen op.**



voordelen	++	++	+	++	score
Duurzaam imago	++	++	-	-	++++
Lagere belasting RWZI	-	++	+	+	+++
Minder drinkwatergebruik	+	++	++	++	+++++
Minder inboet op groen	++	+	-	-	+++
Lagere rioolheffing	-	++	++	++	++++
Verhoogde biodiversiteit (flora&fauna)	++	+	-	-	+++
Investering Waternotechnologie	350 - 500 k€	140 - 250 k€	1.100 k€	1.100 k€	
Investering Infrastructuur	625 - 800 k€	100 - 200 k€	400 - 700 k€	400 - 700 k€	
Baten	19 k€ per jaar	19 k€ per jaar	45 k€ per jaar	45 k€ per jaar	

FieldFactors. 2022

Inhoudsopgave

---

**Scope + Waterconcept**  
**Ontwerp voor City West**  
**Vervolgstappen**

# 1. Scope + Waterconcept

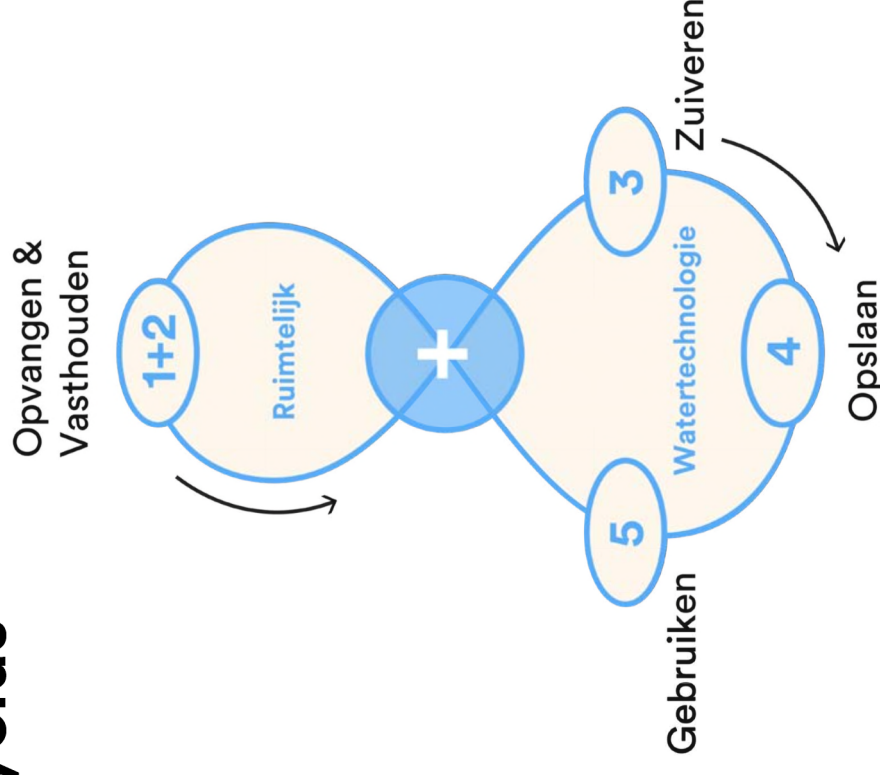
Scope: Waterconcept

## Het verkleinen van de stedelijke watercyclus levert waarde op in directe omgeving.

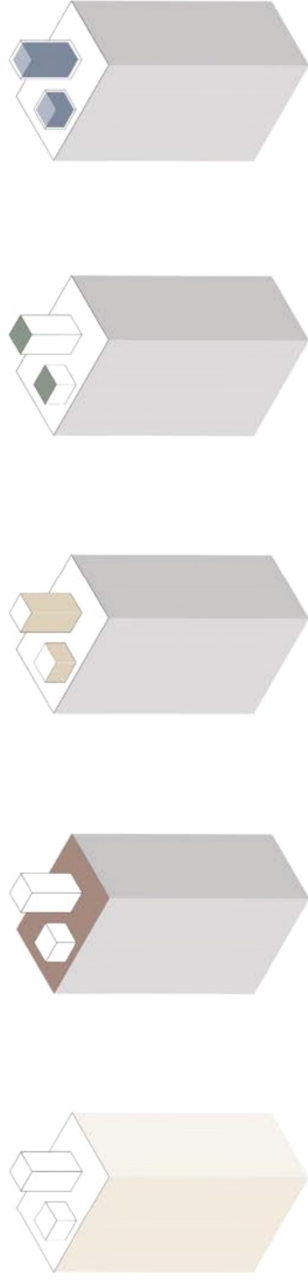
Met waterbeheer in bebouwd gebied wordt op de eerste plaats getracht om problemen te voorkomen: door middel van maatregelen die het water op tijd afvoeren wordt er voor gezorgd dat kwetsbare constructies en functies niet worden blootgesteld aan te veel of te weinig water. Dit is een preventiestrategie.

De gedachte achter dit waterconcept is dat er geen heel nieuw stedelijk watersysteem nodig is, maar dat het huidige watersysteem wordt geoptimaliseerd. Dit wordt beoogd door onderstaande 3 strategieën toe te passen, waardoor een toekomstbestendig watersysteem ontstaat.

1. Pas circulaire systemen op de kleine schaal in 5 stappen toe.
2. Zorg ervoor dat de waterstromen worden gescheiden bij de bron.
3. Ontwerp watertechnologie op een blauw-groene manier, om meer maatschappelijke waarde te creëren, zoals voor de ruimtelijke kwaliteit, de mens, of de natuur.

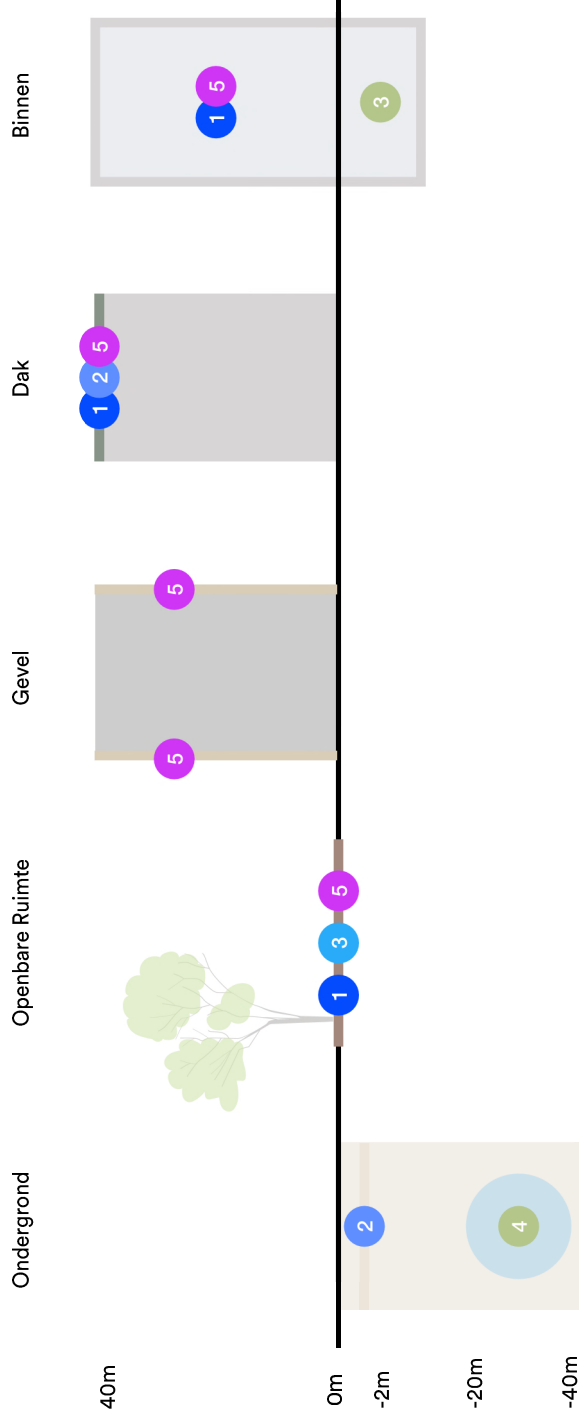


# Het Waterconcept: 5 waterfuncties in 5 ruimtelijke domeinen.



Het waterconcept bestaat uit verschillende configuraties. Iedere locatie heeft zijn eigen functie

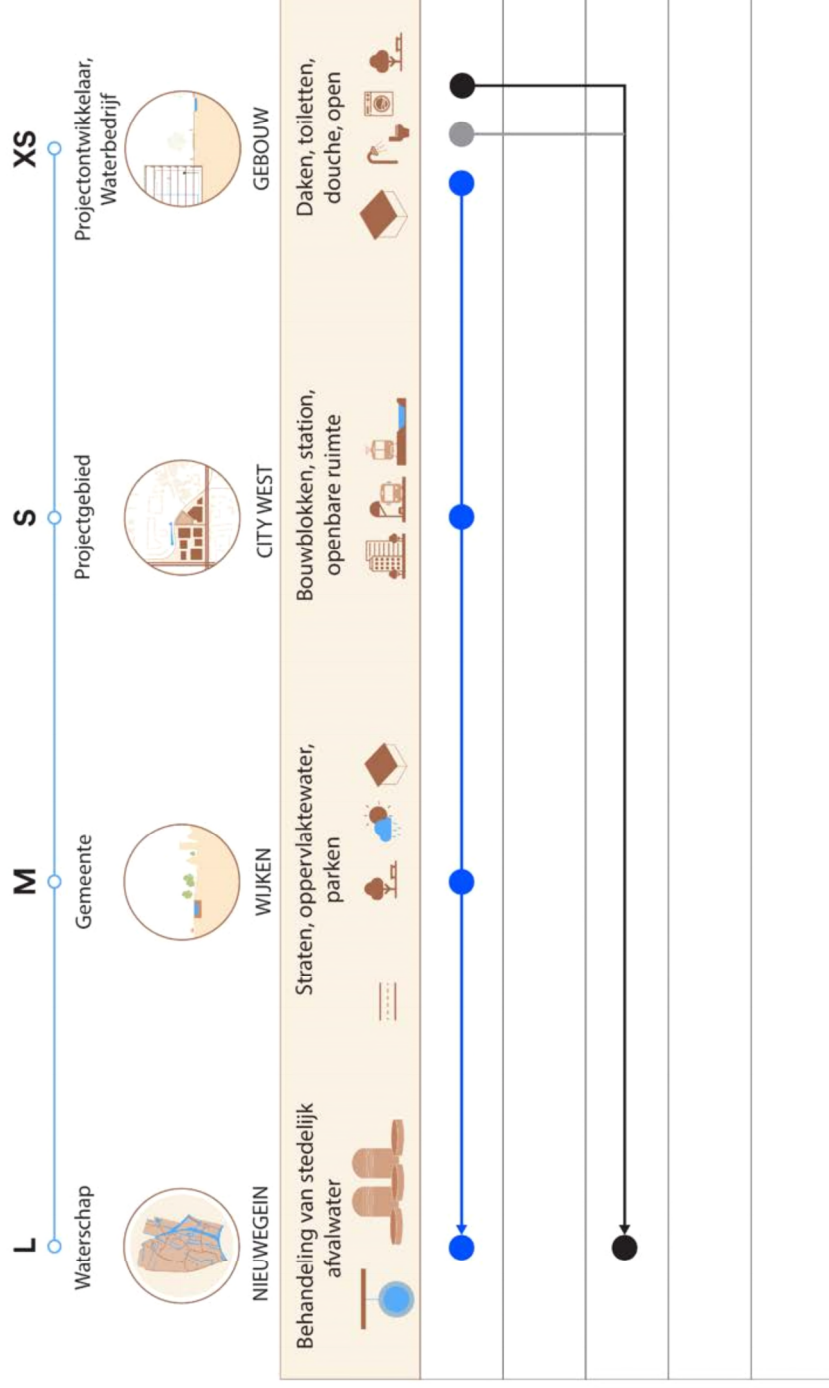
- De **ondergrond** zorgt voor het vasthouden en opslaan van gezuiverd water.
- In de **openbare ruimte** vindt de opvang, de zuivering en hergebruik plaats.
- De **gevel** is een gebied waar het groen kan bloeien door het hergebruik van gezuiverd water.
- Op het **dak** vindt naast het opvangen en vasthouden, ook het hergebruik voor het groen plaats.
- **Binnen** fungeert als opvangpunt en de kelder voor de zuivering, evenals voor het hergebruik voor toiletwater.



Lineair, Vervlochten schaalniveau's

## Bundeling van stromen door de stedelijke schalen.

Dit is het huidige lineaire stedelijke waterconcept. Het huidige verbeterd gescheiden stelsel (VGS) zorgt voor de verwerking van de stromen. In het huidige watersysteem worden niet alle stromen gescheiden op de XS schaal. Het regenwater komt, op een vertraagde manier, uiteindelijk terecht op het schaalniveau van de stad, waardoor hergebruik op lokale schaal lastig is. Het grijze en zwarte afvalwater wordt gezamenlijk naar de RWZI, op schaal L buiten de stad, gebracht.



1. OPVANGEN

2. VASTHOUDEN

3. ZUIVEREN

### Watersoorten



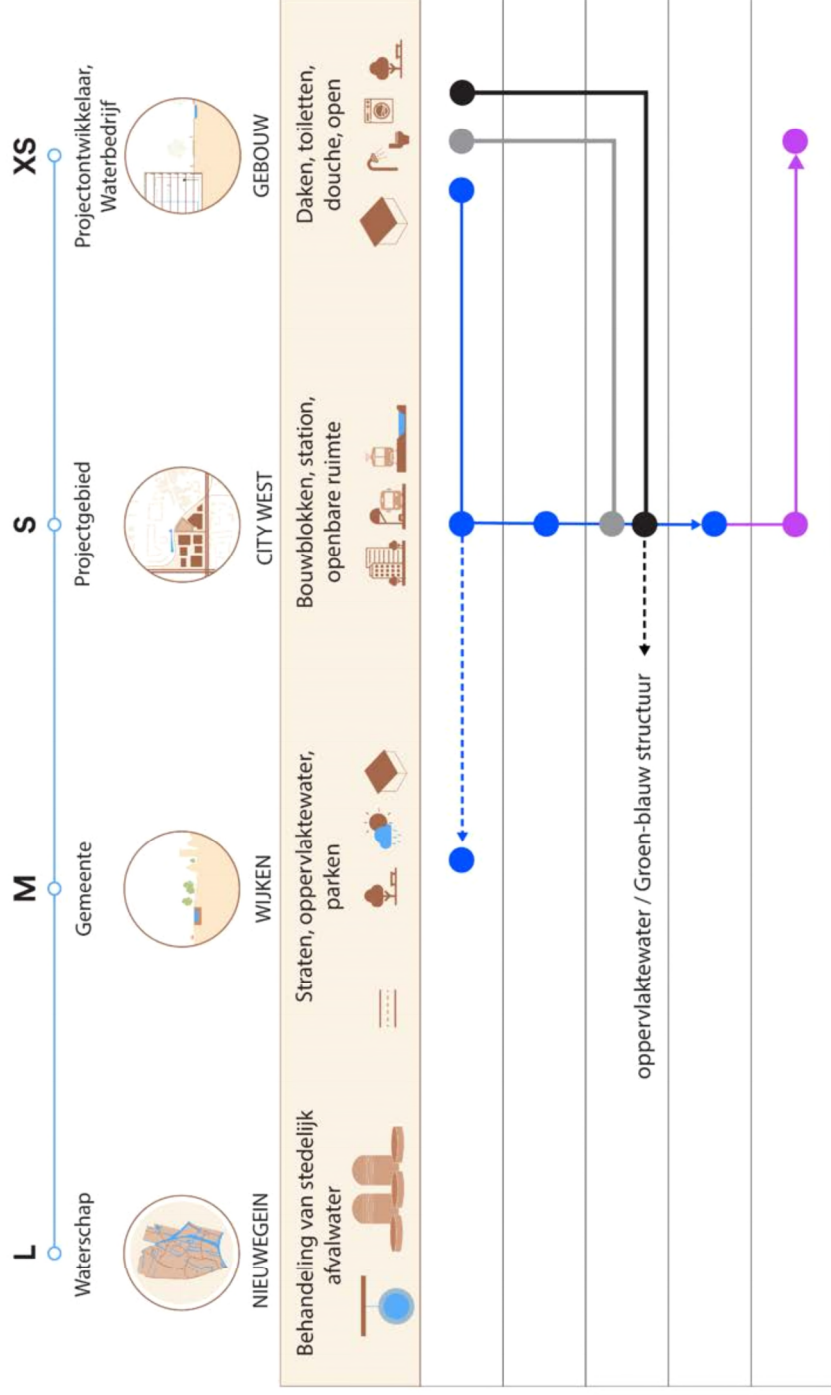


Circulair, Gescheiden stromen

## Scheiden van stromen maakt hergebruik mogelijk op kleine schaal.

Door het circulaire waterconcept te hanteren, kunnen de gescheiden stromen, die op de XS-schaal plaatsvindt, worden hergebruikt. Dit gebeurt op de schaalniveaus XS, S en M. De infrastructuur daarvoor is compact en beheersbaar.

Op deze manier wordt het water niet meer van de locatie afgevoerd naar de L-schaal, maar wordt het opgeslagen om opnieuw te kunnen gebruiken, op de locatie.



1. OPVANGEN

2. VASTHOUDEN

3. ZUIVEREN

4. OPSLAAN

5. GEBRUIKEN

### Watersoorten

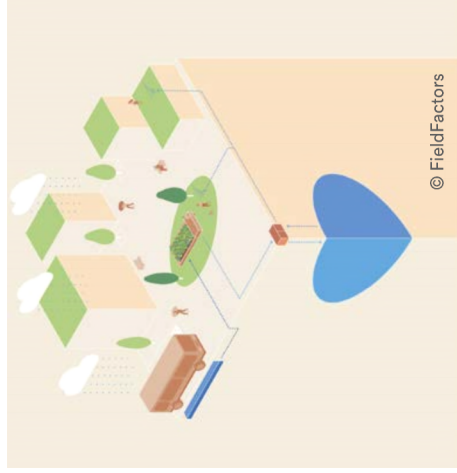


Framework: Technologie

# De drie watertechnologieën hebben elk afzonderlijk hun relatie tot het hergebruiken van waterstromen.

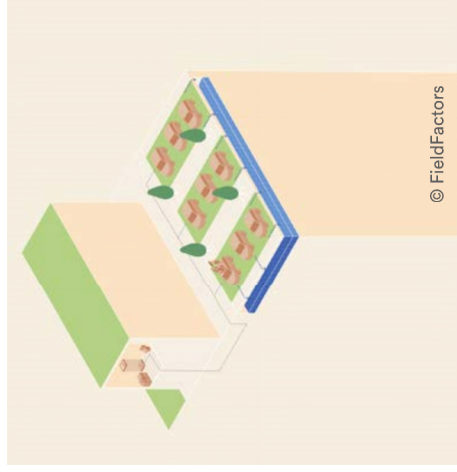
Gescheiden stromen en hun watertechnologieën:

Blauw



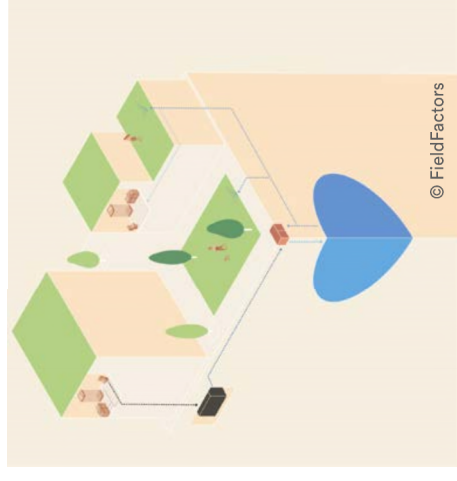
BlueBloqs

Licht-Grijs



PhytoParking / PhytoAir

Zwart



DeSaH

**Blauw**

De **BlueBloqs** technologie zuivert regenwater en is geïntegreerd in de openbare ruimte

**Licht-Grijs**

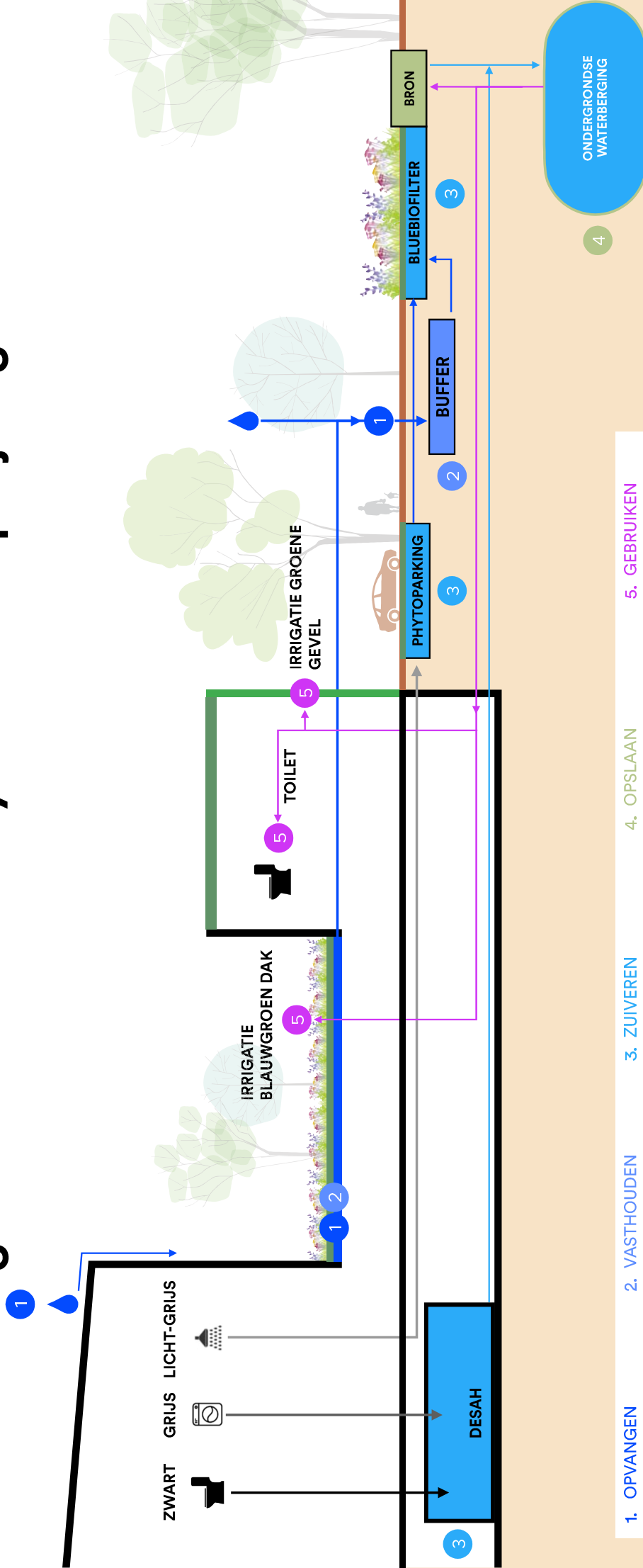
De **Phytoparking/air** technologie zuivert licht-grijs water en is geïntegreerd onder de parkeerplaats.

**Zwart**

De **Desah** technologie zuivert zwart water en bevindt zich in de kelder van de gebouwen.

Hergebruik van waterstromen

# De volledige circulaire watercyclus in het projectgebied



1. OPVANGEN

2. VASTHOUDEN

3. ZUIVEREN

4. OPSLAAN

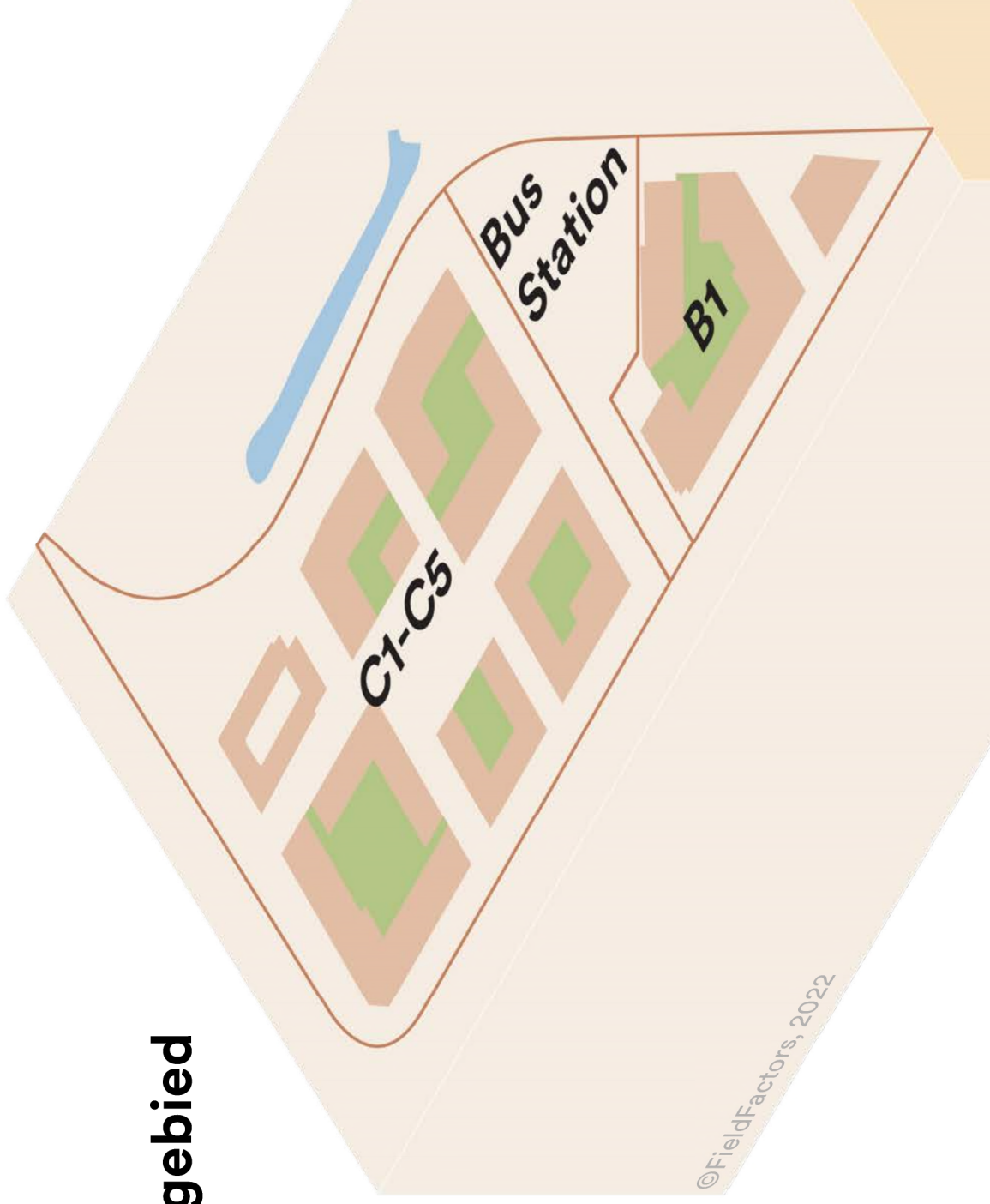
5. GEBRUIKEN

# 2. Design voor City West



# Karakteristieken van het gebied

<b>B1</b>	6.300 m <sup>2</sup>
	467 appartementen
<b>Busstation</b>	7.000 m <sup>2</sup>
<b>C1-C5</b>	15.000 m <sup>2</sup> daken
	700-900 appartementen
	21.500 m <sup>2</sup> openbare ruimte
<b>Totaal plangebied</b>	<b>48.300 m<sup>2</sup></b>



# Uitgangspunten

De gebiedsontwikkeling in Nieuwegein kent een aantal uitgangspunten.

- Het duurzaamheidskader geldt als minimum;
- Er moet 50 mm berging + 20 mm infiltratie in 2 uur of hergebruik op het dak wordt gerealiseerd;
- Drinkwaterbesparing en hergebruik van regen- en afvalwater moet worden meegenomen in de ontwerpen;
- Een hoogwaardige en gezonde leefomgeving te creëren door een groen en autoluw binnengebied te maken.



©FieldFactors, 2022

Design

## Blauw . Regenwater

BlueBloqs zorgt voor regenwaterzuivering, -controle en -monitoring die naadloos met elkaar samenwerken.

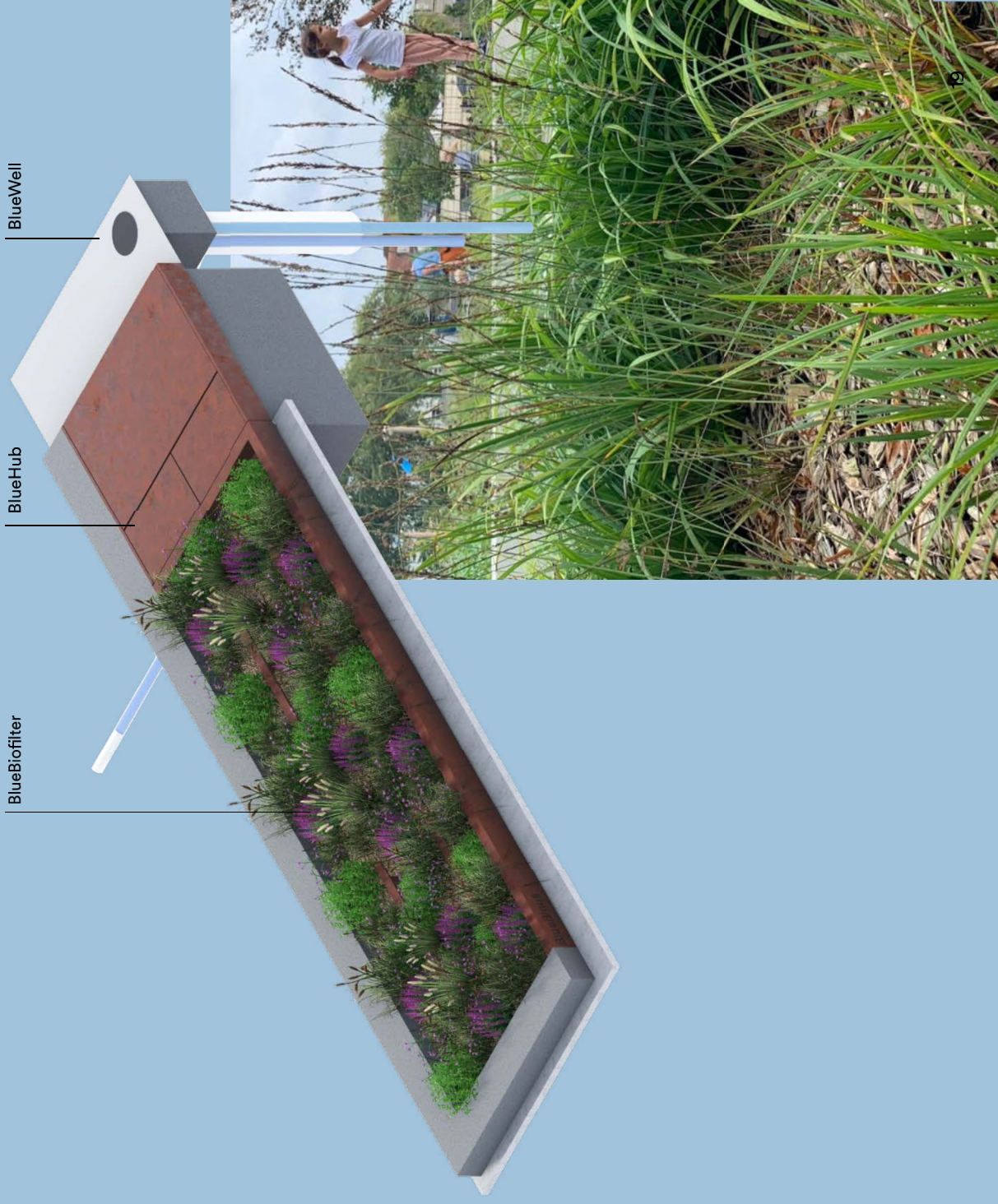
Hiermee kunnen grote volumes regenwater op en onder de projectlocatie worden opgeslagen en kunnen worden hergebruikt.

De modulariteit en de groende aanblik van het systeem maakt het geschikt voor de openbare ruimte in hoogstedelijk gebied.

BlueWell

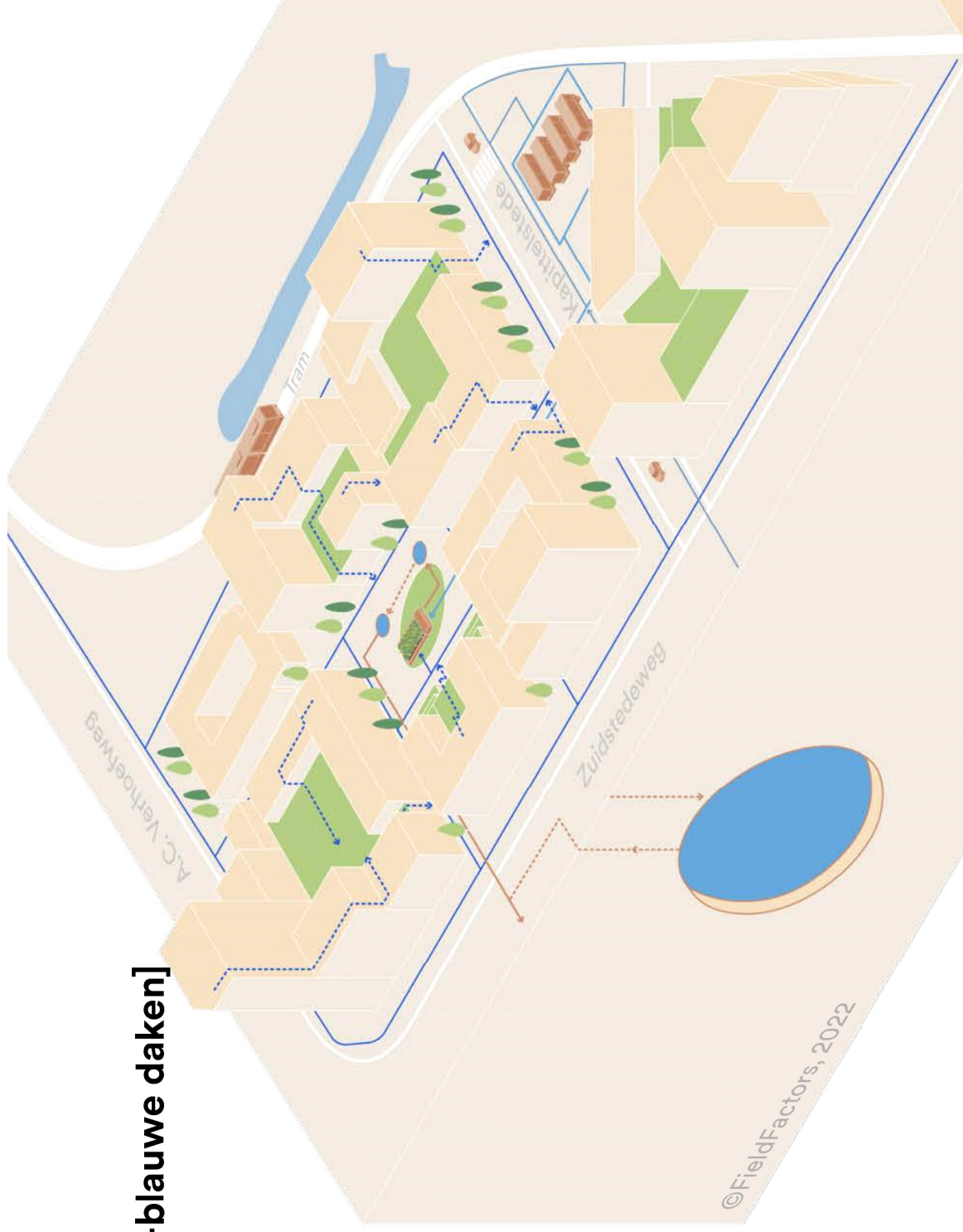
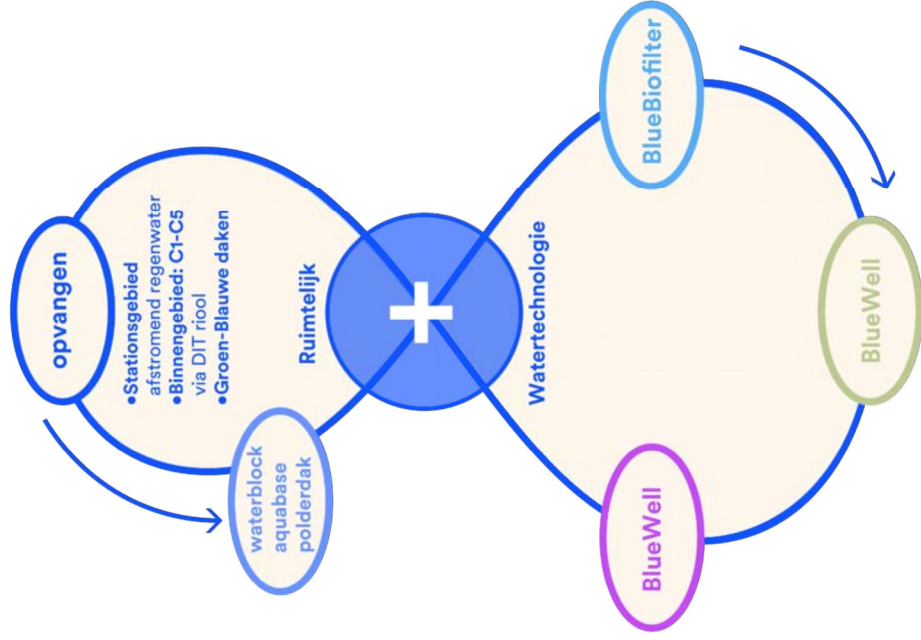
BlueHub

BlueBiofilter



# Blauw

## [Stationsgebied, C1-C5, groen-blauwe daken]



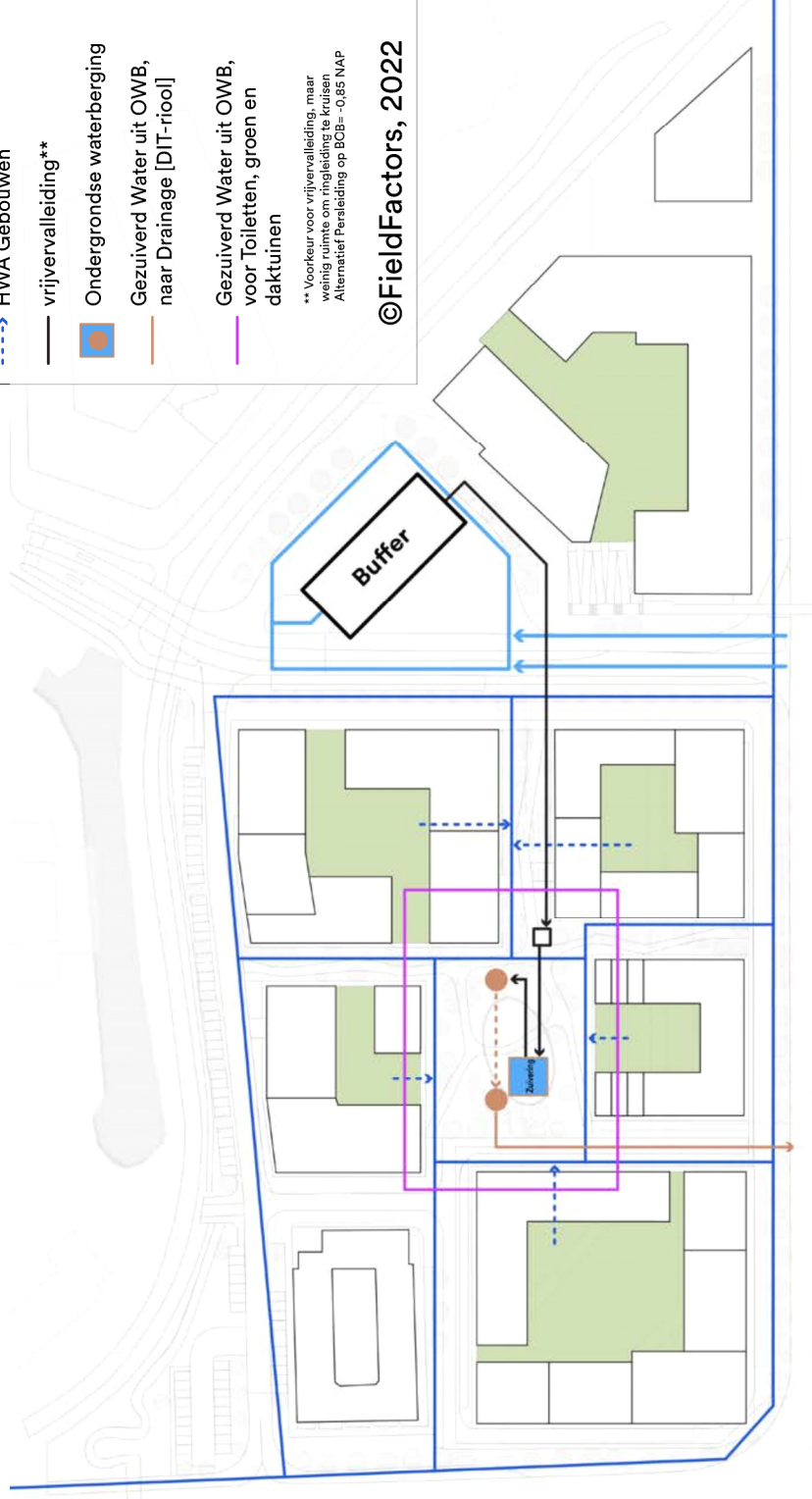
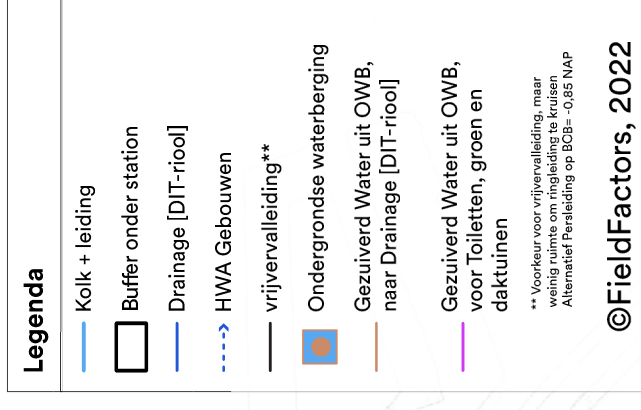


# Blauw

## Openbare ruimte, Stationsgebied en Groen-Blauwe daken.

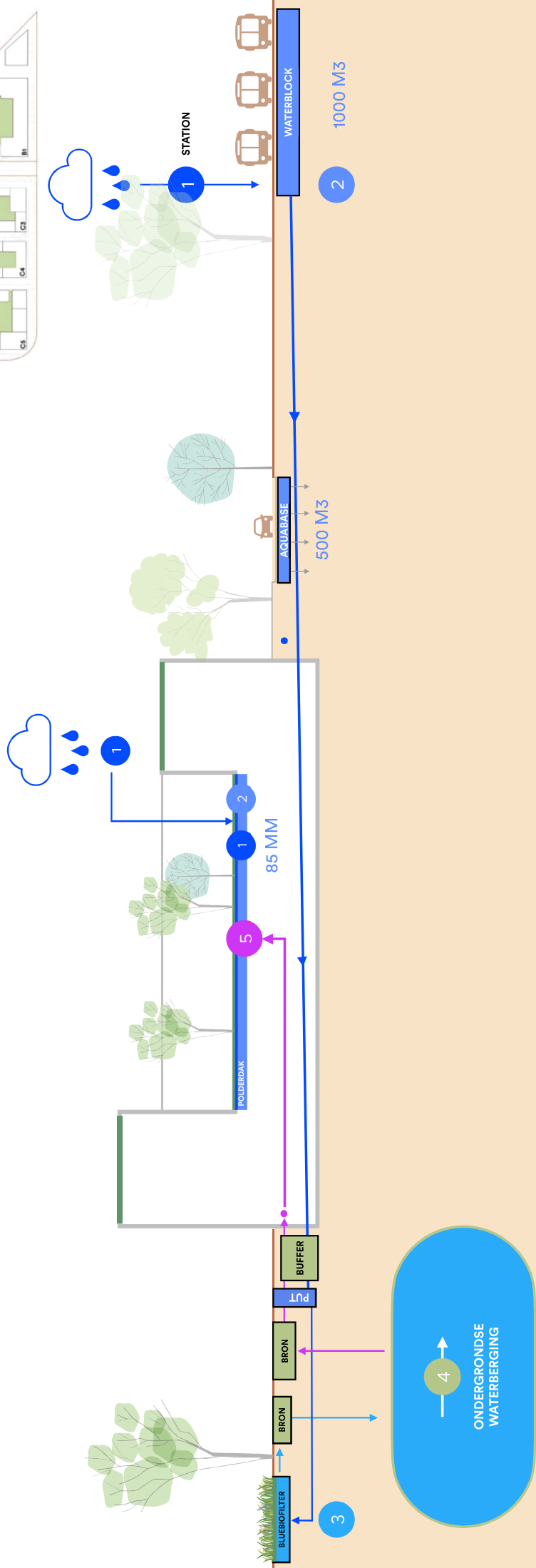
Regenwater wordt opgevangen in het blauwe leidingstelsel in de vorm van een drainage-infiltratie riool [DIT]. Het is opgeven collected from openbare ruimte, straten, en groen-blauwe daken.

Deels wordt het regenwater vastgehouden onder het busstationsgebied. Het water stroomt daarna naar een put om via de BlueBiofilter te worden gezuiverd. Het gezuiverde water worden door bronnen in de OWB opgeslagen voor toekomstige gebruik.



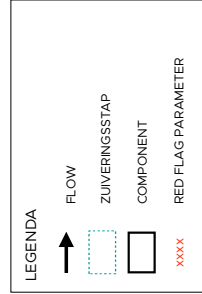
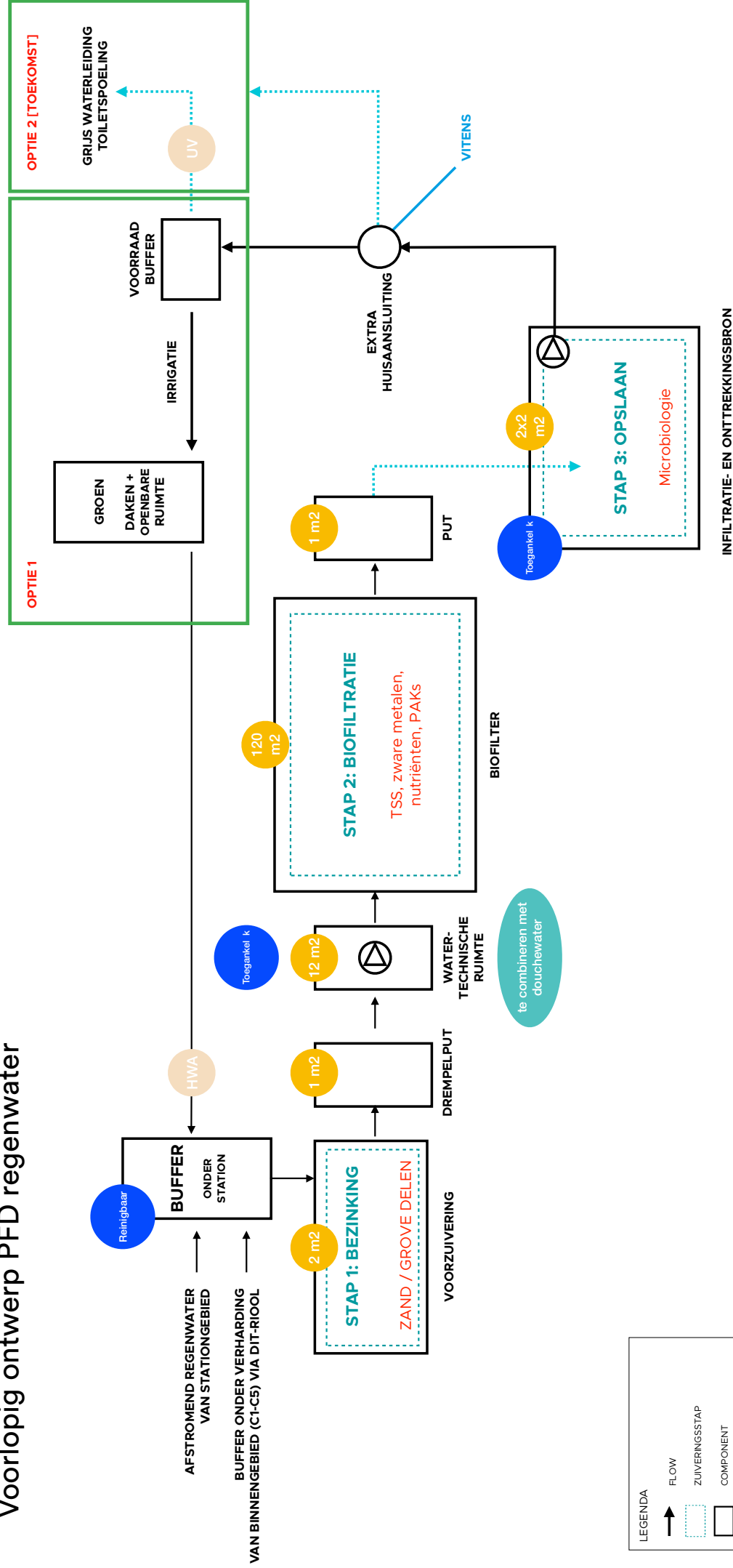
Openbare ruimte, Stationsgebied en Groen-Blauwe daken.

# Regenwater



1. OPVANGEN	2. VASTHOUDEN	3. ZUIVEREN	4. OPSLAAN	5. LEVEREN
300 M3 / DAG	1000 M3	120 M2	2 BRONNEN	30 M3 / DAG

# Voorlopig ontwerp PFD regenwater

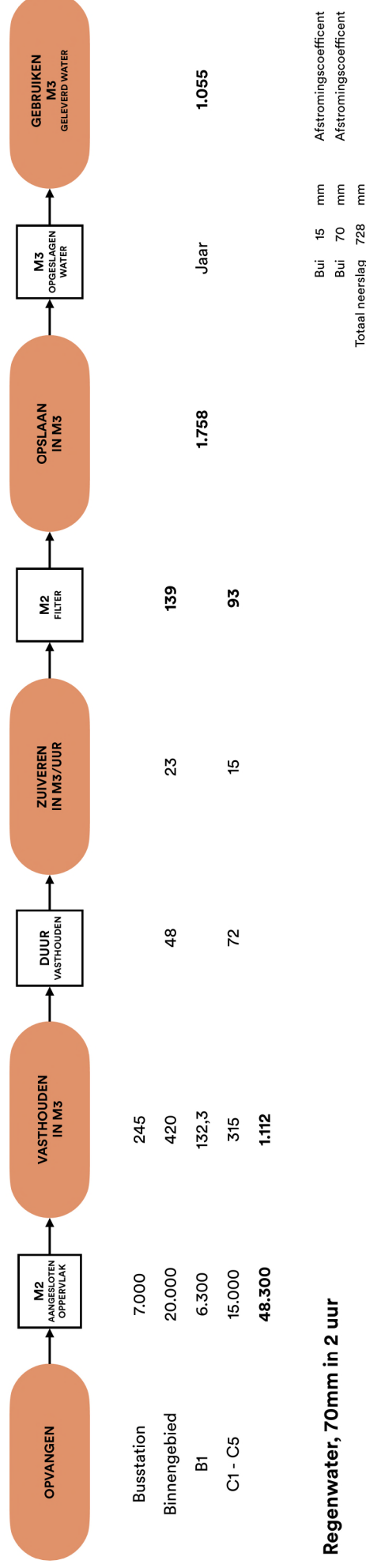


## Eenvoudige Waterbalans

# Een piekbui verwerken heeft een groter ruimtebeslag dan een normale bui en levert niet veel meer water op.

### Regenwater, 15mm in 1 uur

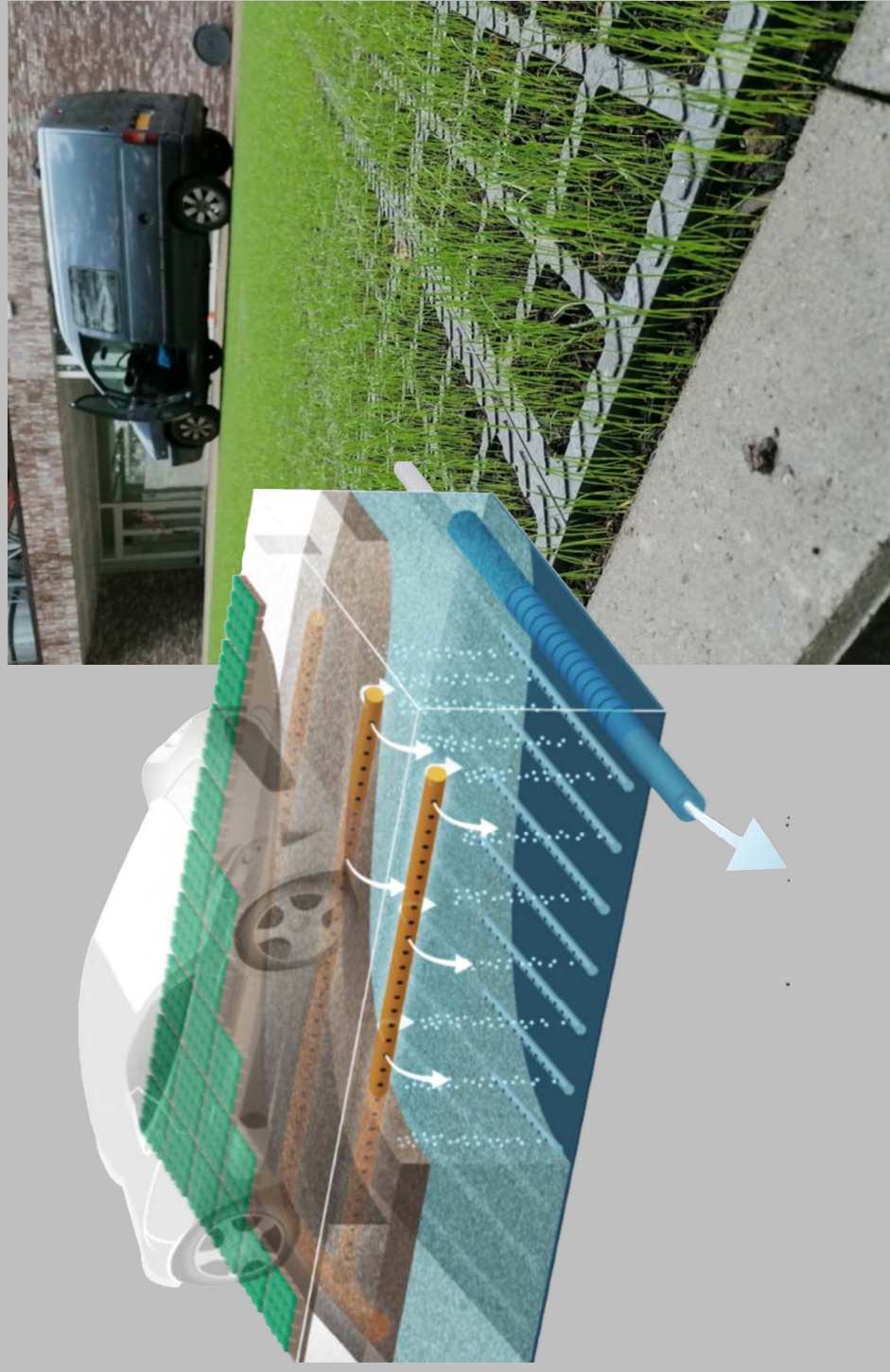
Busstation	7.000	53							
Binnengebied	20.000	90	48	6	47				
B1	6.300	47							
C1 - C5	15.000	113	72	4	31				
	<b>48.300</b>	<b>302</b>							<b>8.821</b>
									<b>14.702</b>
									<b>Jaar</b>



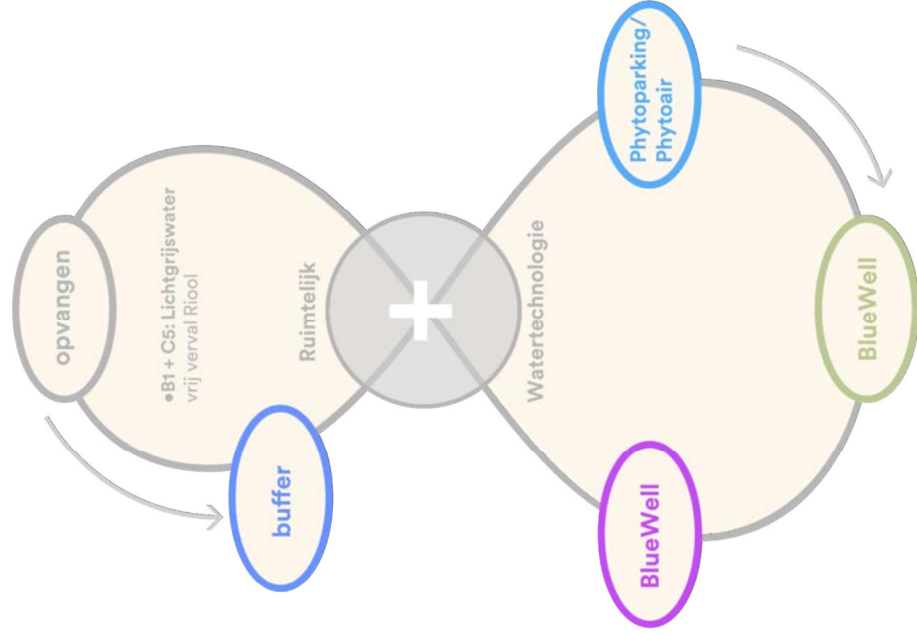
Design

## Licht-grijs . Douchwewater

De Phytoparking is onderdeel van de Phytoreeks waarbij er een parkeerplaats bovenop de zuivering wordt geplaatst.



# B1 en C5 (+ mogelijk C1-C4) Licht-Grijs

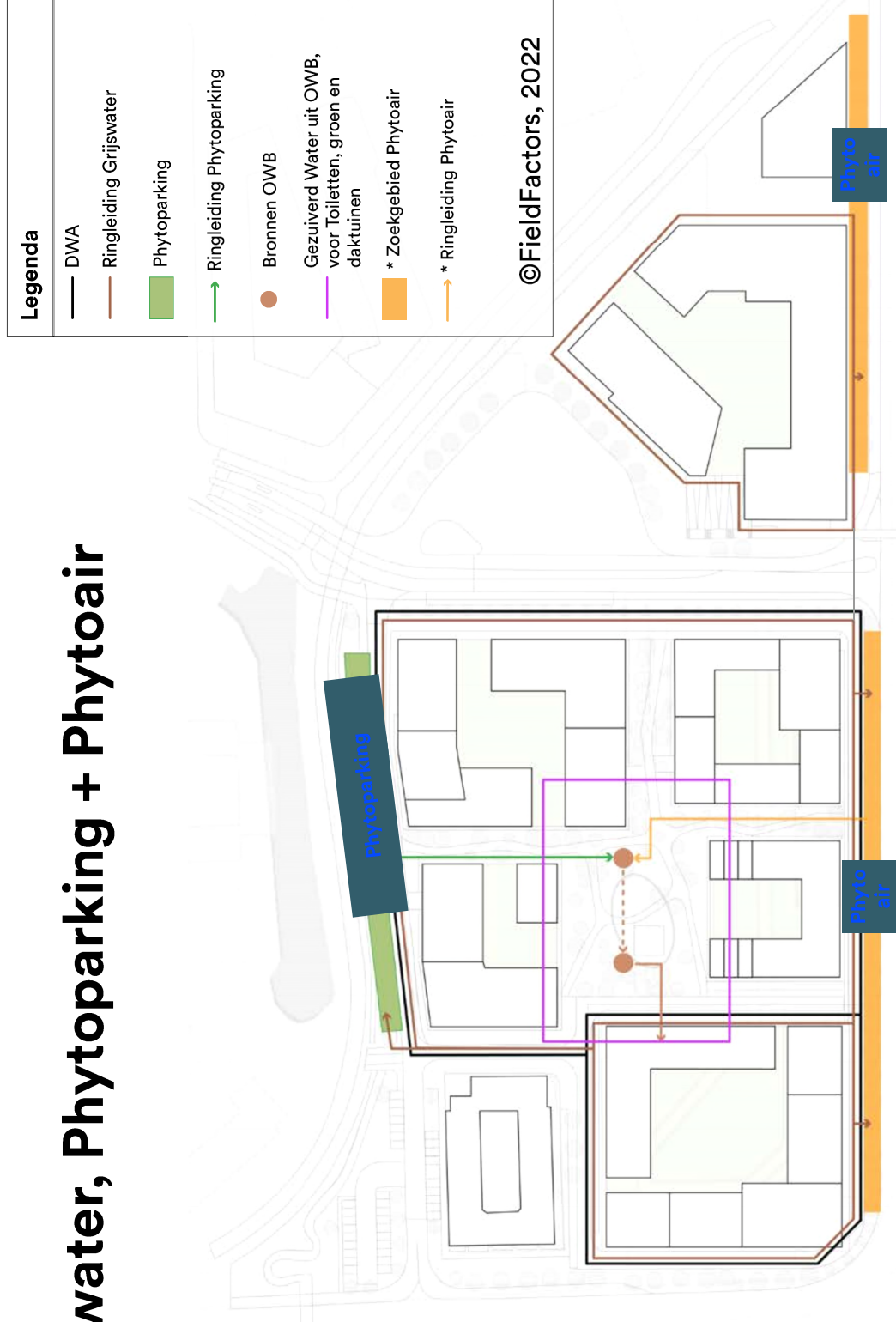




# Licht-Grijs Douchewater, Phytoparking + Phytoair

Dit ontwerp is het maximale hergebruikscenario van lichtgrijs douchewater met de toevoeging van C1-C4.

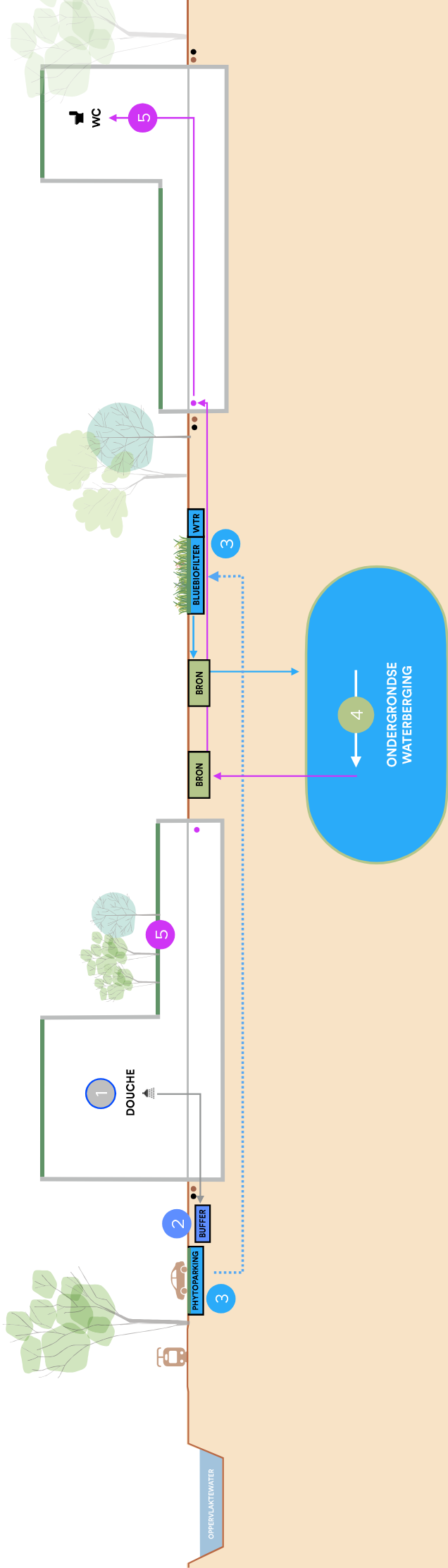
In dit schema is er een centrale ringleiding voor grijswater gepland dat bedoeld is om douchewater uit C1-C4 op te vangen. Het grijswater uit de blokken aan de noordzijde wordt door een Phytoparking behandeld, zodat het water niet een lange weg hoeft af te leggen. De blokken (inclusief C5 en B1) aan de Zuidstedeweg kunnen worden aangesloten





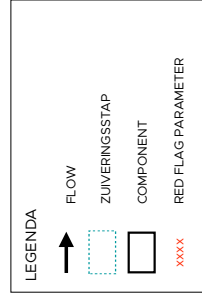
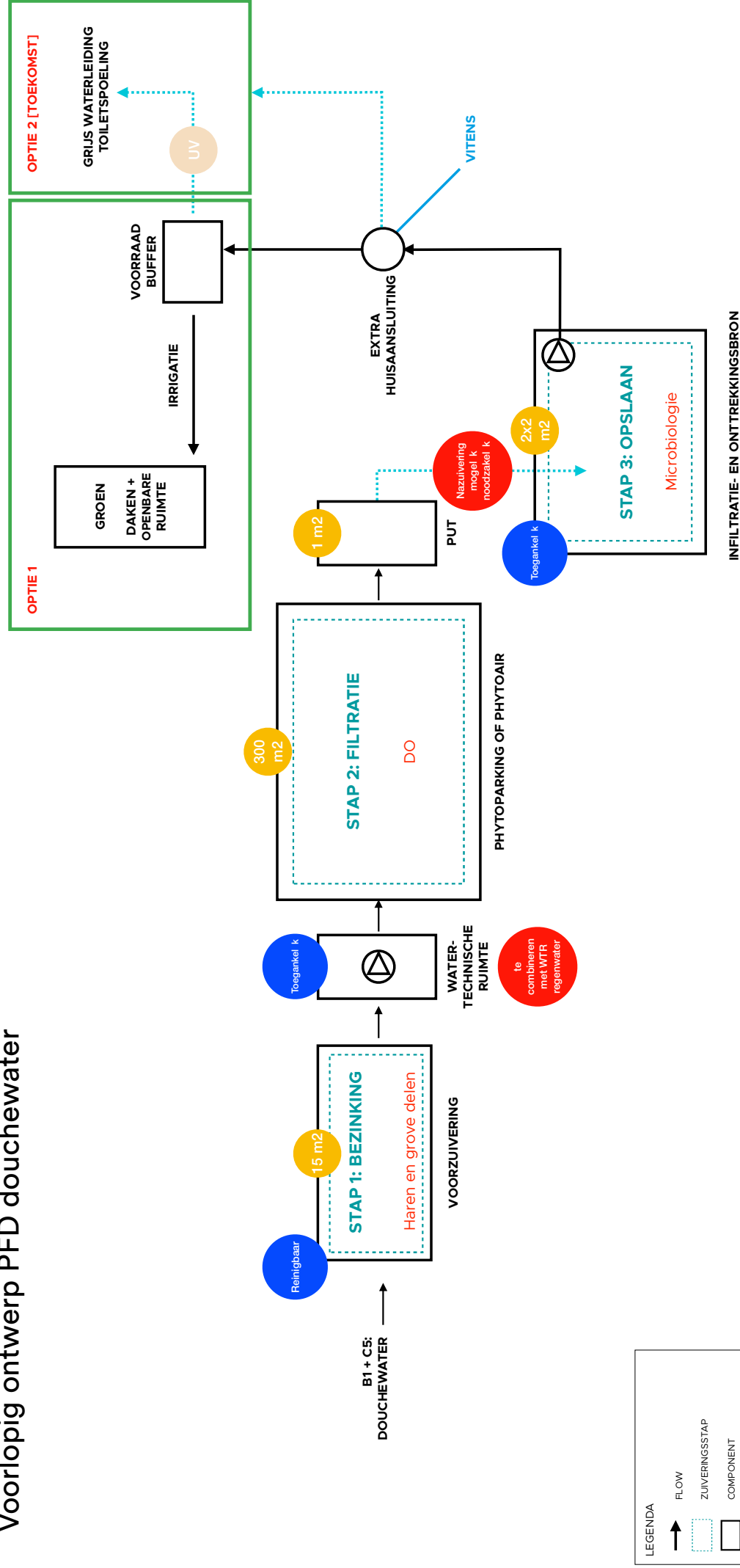
B1 en C5, mogelijk C1-C4

# Douchewater



1. OPVANGEN	2. VASTHOUDEN	3. ZUIVEREN	4. OPSLAAN	5. LEVEREN
63 M3 / DAG	30 M3	300 M2	2 BRONNEN	63 M3 / DAG

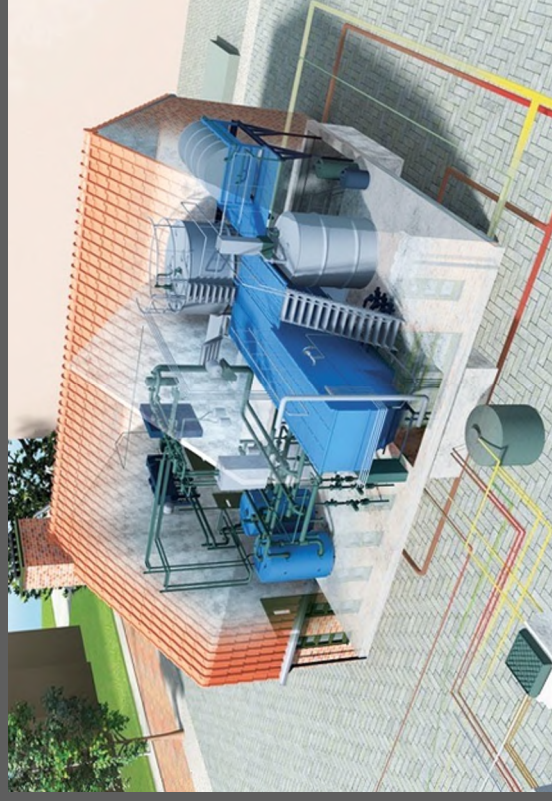
# Voorlopig ontwerp PFD douchewater



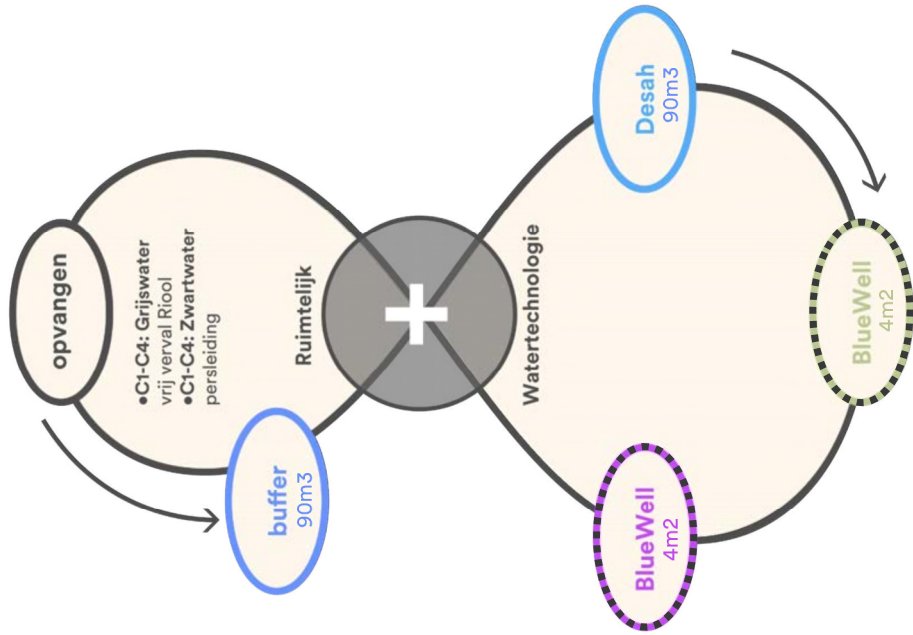
Design

## Zwart . Afvalwater

DeSaH is een circulair, brongescheiden afvalwaterzuiveringssysteem dat energie, nutriënten in de vorm van meststoffen en water terugwint.



# C1-C4 Zwart + Grijs

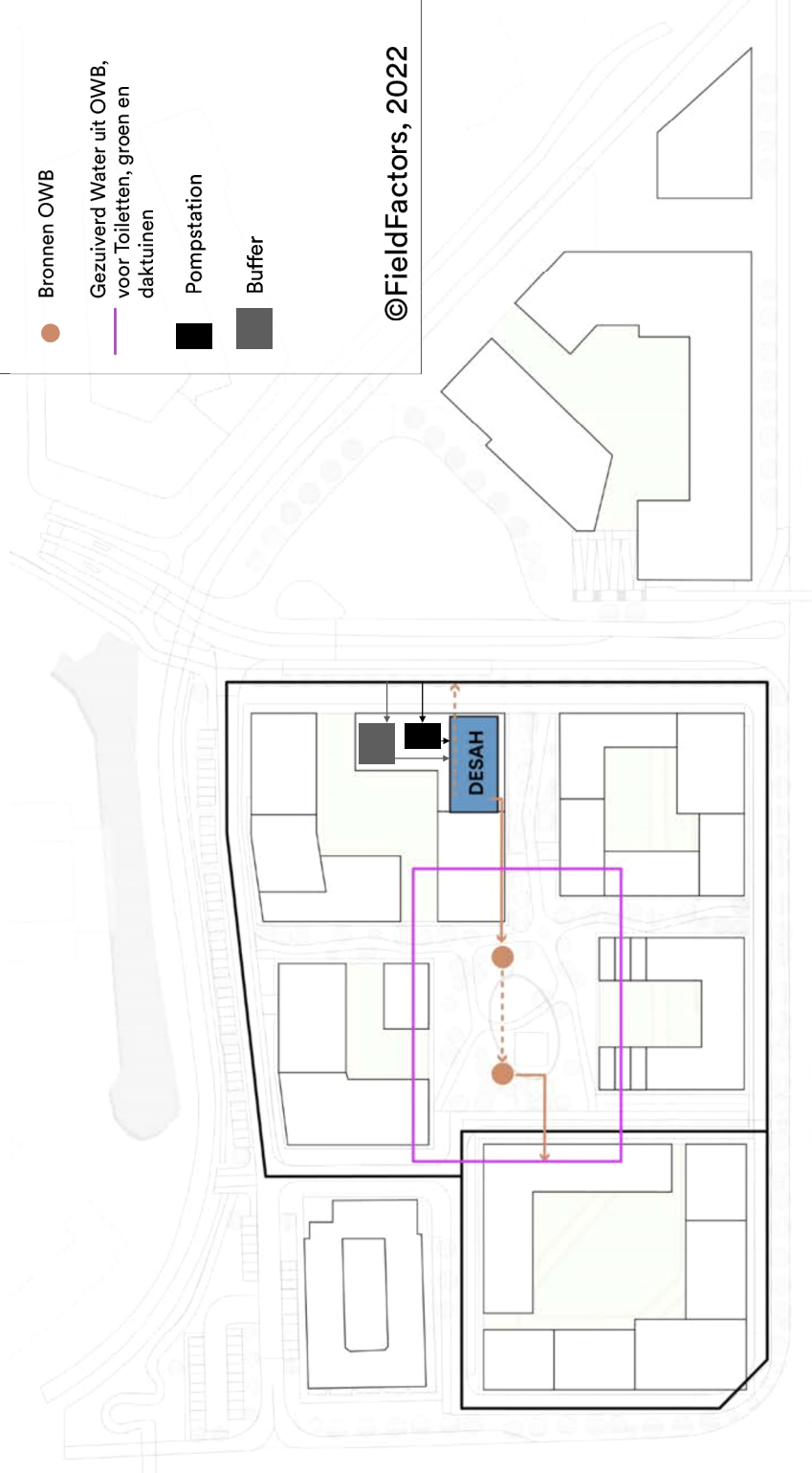
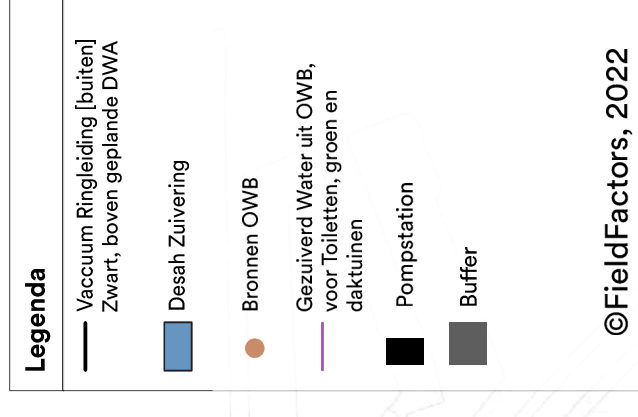


# Het zwarte en grijze afvalwater uit C1-C4 kan dagelijks 120 m<sup>3</sup> water terugleveren.

Om het afvalwater te kunnen hergebruiken is een geavanceerde zuivering nodig in één van de te ontwikkelen bouwblokken C1-C4.

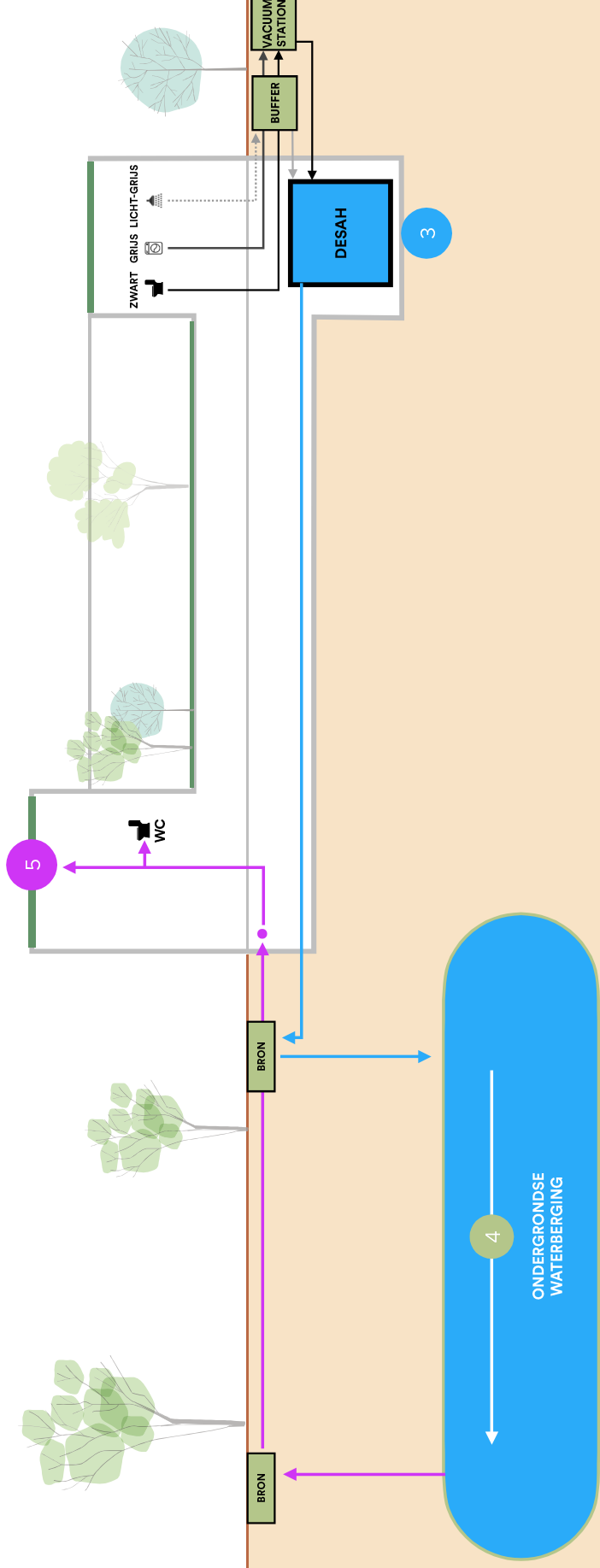
Het beoogde ruimtebeslag is compact. Met 200m<sup>2</sup> kan al het grijze en zwarte water van de bouwblokken C1-C4 worden gezuiverd.

Ter overweging zou nog kunnen worden nagedacht om het lichtgrijze water van C1-C4 te scheiden en via een Phyto zuivering te verwerken. Dit heeft positieve impact op het ruimtebeslag, de uitstraling middels een groene zuivering, maar er kan minder warmte worden teruggewonnen.



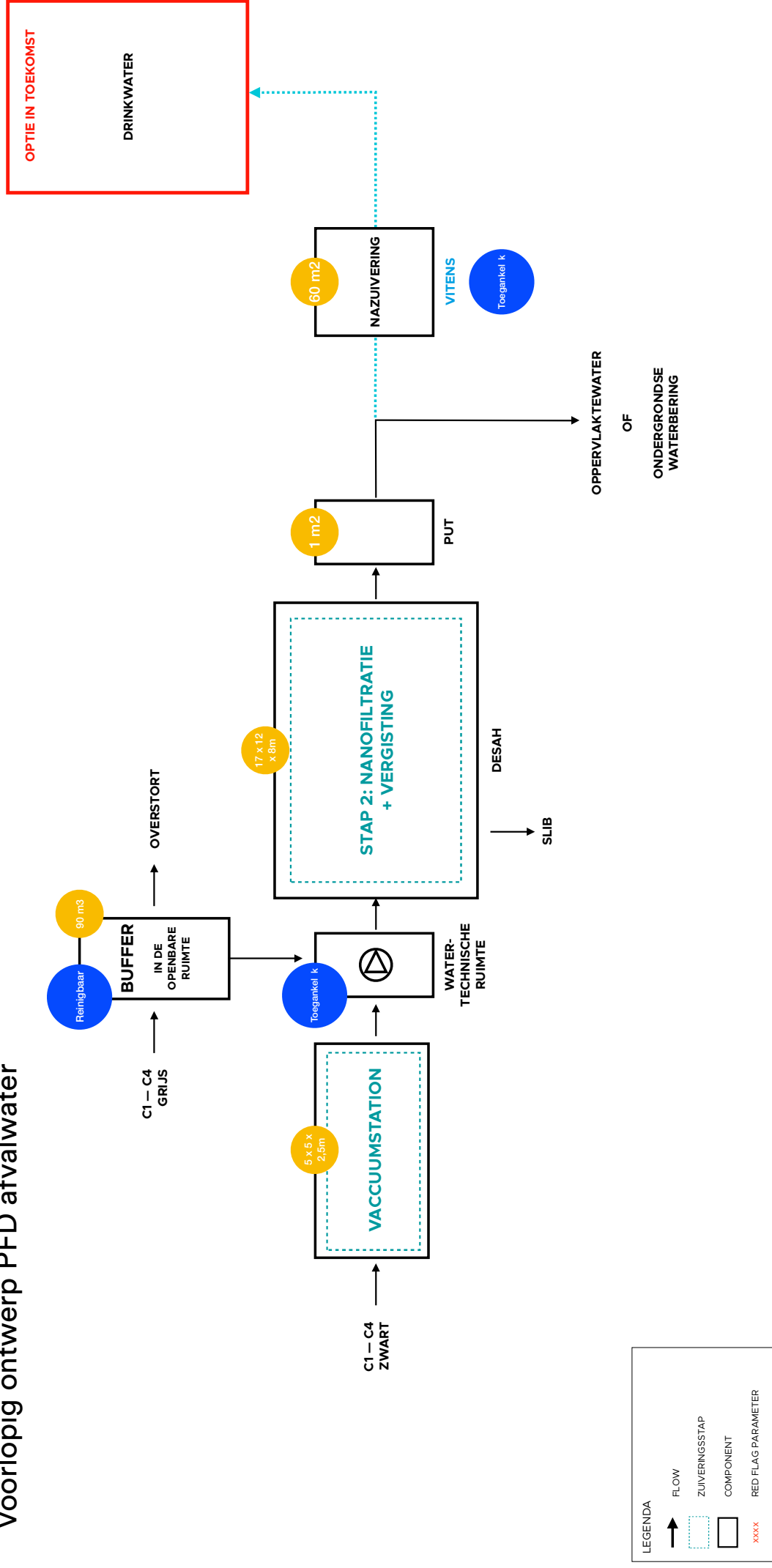
# Hergebruik van Zwartwaterstromen

## C1 - C4



1. OPVANGEN	2. VASTHOUDEN	3. ZUIVEREN	4. OPSLAAN	5. LEVEREN
130 M <sup>3</sup> / DAG	90 M <sup>3</sup>	200 M <sup>2</sup>	2 BRONNEN	120 M <sup>3</sup> / DAG

# Voorlopig ontwerp PFD afvalwater



# 3. Vervolgstappen





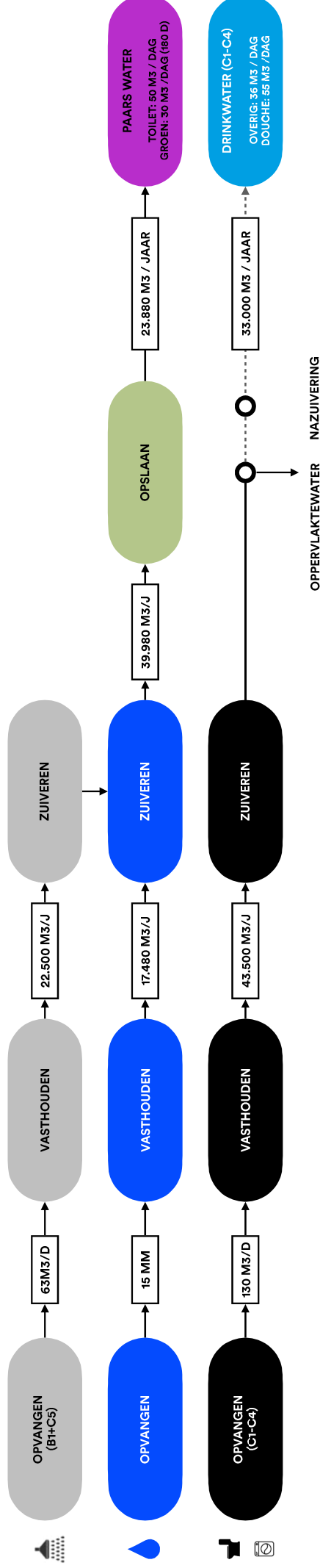
## Waterbalans

# In City wordt er jaarlijks minimaal 22% aan drinkwater bespaard, dat is 21.000 m<sup>3</sup> en 25 liter per persoon per dag.

Het watergebruik ligt zonder maatregelen rond de 98.500 m<sup>3</sup> per jaar. Door waterbesparende maatregelen, zoals douchekoppen en 3l-spoel toiletten toe te passen kan er jaarlijks zo'n 22% aan drinkwater worden bespaard. Dat komt neer op 77.000 m<sup>3</sup> drinkwater in de bouwblokken B1 en C1-C5.

Door het hergebruik van het water voor toiletspoeling en de irrigatie van het groen te vervangen kan het drinkwaterverbruik

verder naar beneden. Er zal dan een extra 15% worden bespaard, neerkomend op 14.000m<sup>3</sup> per jaar en 17 liter per persoon per dag. Wanneer er in de toekomst ook in het drinkwater wordt voorzien, zoals voor het douchewater, dan is de drinkwaterbesparing het grootst, wetende een extra 35%, neerkomende op 50 liter per persoon per dag. Dan verbruikt een inwoner in City nog maar 28l drinkwater per dag.

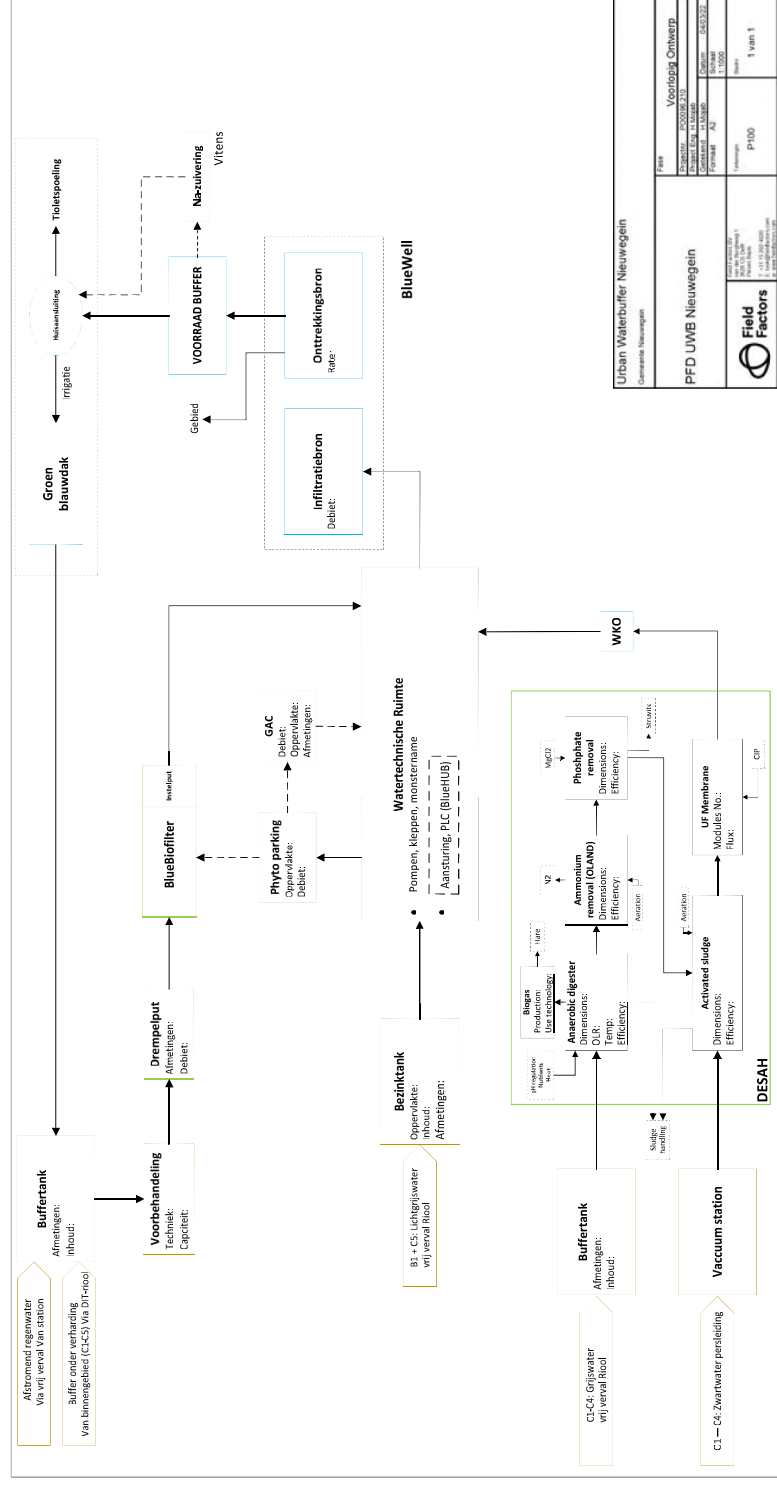


Vervolg

# Het ontwerp moet kritisch worden beschouwd op de dimensieering, in aansturing en borging van de waterkwaliteit.

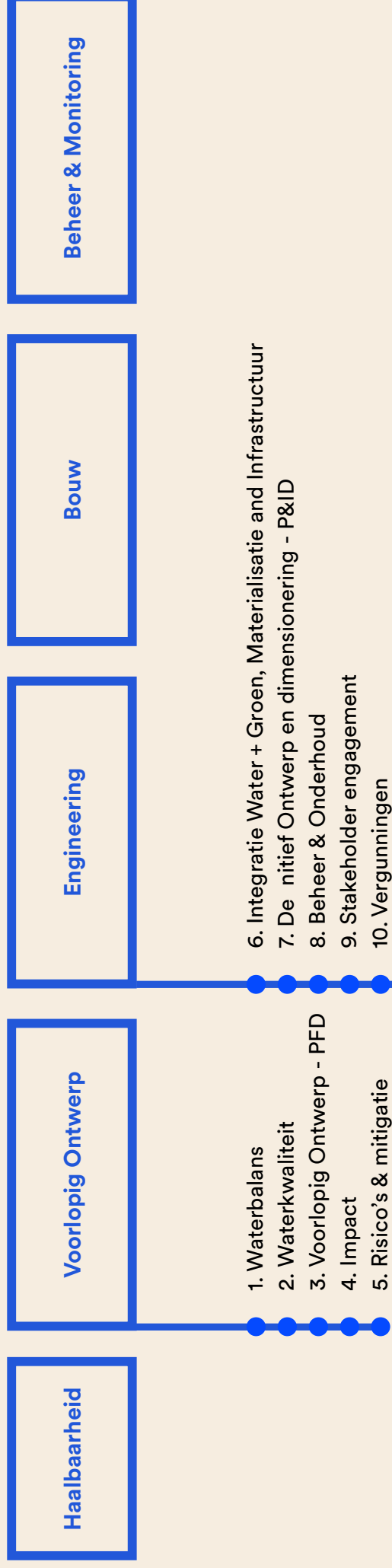
De samenhang van alle technische componenten is hiernaast weergegeven in een “proces flow diagram [PFD]”. Dit PFD laat zien welke fysieke componenten er moeten worden gerealiseerd, zij het in het gebouw of in de openbare ruimte. Omdat er nog geen definitieve keuze is gemaakt op de daadwerkelijke combinatie van stromen en de bijbehorende zuiverings-, opslag- en leveringstechnologie ontbreken de definitieve afmetingen van de componenten.

Wel kan worden geconcludeerd dat de technologie aanwezig is en dat er een volgende stap kan worden gezet om de integratie met de infrastructuur in de lopende gebiedsontwikkeling te faciliteren.



Het proces naar realisatie

**Bij groen licht op het voorlopig ontwerp is het noodzakelijk dat in de fase Engineering er integraal met de geplande infrastructuur (groen, energie, verkeer) wordt ontworpen.**



# Laten we samen City de duurzaamste binnenstad van Nederland maken.

[eldfactors.com](https://eldfactors.com)



Wilrik Kok      wilrik@ eldfactors.com  
Co-founder, Architect    +31 6 2489 3599

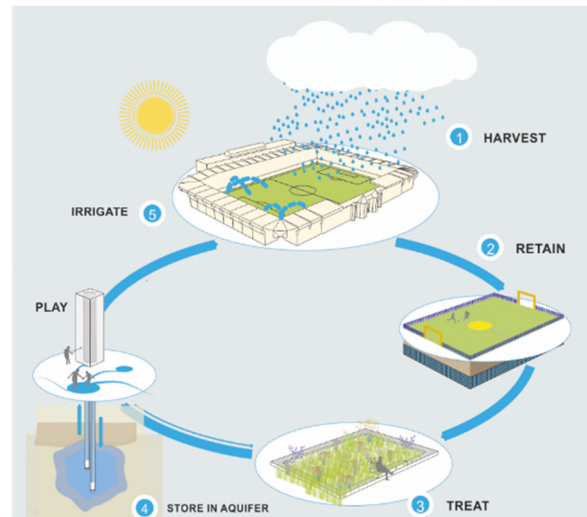
### **III Ondergrondse Waterberging City Nieuwegein**

## 1 Introductie

Recentelijk is bij voetbalclub Sparta in de Rotterdamse wijk Spangen het concept van de Urban Waterbuffer ontwikkeld. De Urban Waterbuffer combineert het verzamelen en vasthouden van hemelwater in tijden van wateroverschot, met het zuiveren en ondergronds opslaan ervan voor later hergebruik in tijden van watervraag. In Figuur 1-1 is het in Spangen toegepaste systeem met wateropvang, berging, zuivering, seizoensopslag en gebruik van het water voor speelplaatsen en irrigatie schematisch weergegeven.

Het overschot aan water wordt aldaar in de diepere ondergrond (ca 15-25 m-mv) geïnjecteerd en zo in relatief grote hoeveelheden opgeslagen voor later gebruik tijdens een periode van vraag, zonder veel ruimtebeslag op en rond maaiveld. De techniek hiervoor wordt Ondergrondse Waterberging (OWB) of *Aquifer Storage and Recovery* (ASR) genoemd.

Afstromend hemelwater wordt na een filtratiestap via een geboorde injectieput in een watervoerend pakket (aquifer) geïnfiltrated. Het voordeel van dit systeem is dat het water beschermd is tegen invloeden van buitenaf waardoor de kwaliteit van het opgeslagen water langdurig goed blijft. De toepasbaarheid van ASR is afhankelijk van de lokale opbouw van de ondergrond en het grondwatersysteem, en van de kwaliteit van het aangevoerde water. In Tabel 1-1 is een SWOT-analyse van de techniek weergegeven.



Figuur 1-1. Urban Waterbuffer Spangen, schematisch overzicht.

Tabel 1-1: SWOT-analyse ondergrondse waterberging (ASR-systeem).

<p><b>Sterktes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Neemt bovengronds weinig tot geen ruimte in beslag, ASR kan bijvoorbeeld onder tuinen, wegen, parkeerplaatsen, sportvelden gerealiseerd worden.</li> <li>• Is schaalbaar (van 1 gebouw tot voor een hele wijk)</li> <li>• Waterkwaliteit blijft goed tijdens opslag waardoor hergebruik goed mogelijk is; wel moet rekening worden gehouden met gedeeltelijke menging met het aanwezig grondwater.</li> </ul>	<p><b>Zwaktes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De ondergrond moet geschikt zijn (aanwezigheid watervoerende pakketten binnen enkele tientallen meters beneden maaiveld, scheidende weerstandbiedende (klei-)lagen)</li> <li>• Systeem vraagt voorzuivering om verstopping van de putten te voorkomen</li> </ul>
<p><b>Kansen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Technisch mogelijk grote hoeveelheden water effectief te bergen in nat seizoen</li> <li>• Kosten nemen af bij grotere schaal</li> </ul>	<p><b>Bedreigingen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Waterkwaliteit van te infiltreren afstromend regenwater moet goed zijn (met zuivering te behandelen) en geen bedreiging vormen voor de waterkwaliteit in de aquifer Technisch gezien kan vrijwel alles gezuiverd worden, maar dit is doorgaans een kostentechnische afweging.</li> </ul>

De toepassing van een OWB voor de opslag van overtollig hemelwater en gezuiverd afvalwater voor later hergebruik vormt een belangrijk onderdeel van het stedelijk waterconcept dat voor City Nieuwegein is ontwikkeld. In deze bijlage worden de belangrijkste randvoorwaarden en aandachtspunten voor de toepassing van de OWB beschreven. De reeds gerealiseerde Urban Waterbuffer Spangen geldt hierbij als belangrijke referentiesituatie (Zuurbier & van Dooren, 2019).

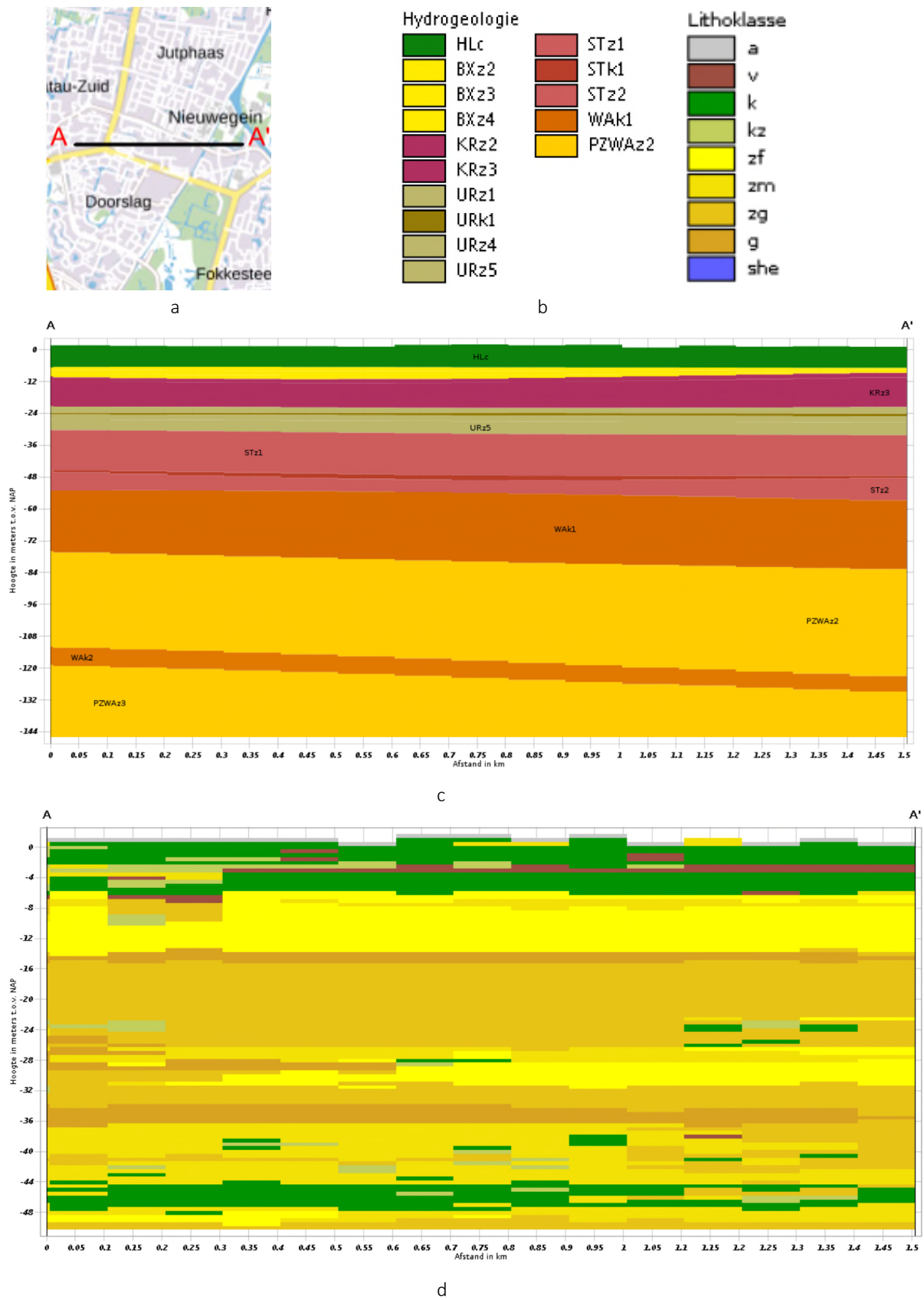
## 2 Hydrogeologie

### 2.1 Bodemopbouw

De bodemopbouw is bepalend voor de toepassing van ondergrondse waterberging. De bodemopbouw bij City West is weergegeven in Figuur 2-1 en Figuur 2-2. De maaiveldhoogte op de projectlocatie bedraagt ongeveer 1,25 m+NAP. Figuur 2-1 laat zien dat de Nieuwegeinse bodem onder de ca. 7 meter dikke holocene deklaag voornamelijk uit (grof) zandige afzettingen (F. van Kreftenheije, F. van Sterksel, Peize Waalre F.) bestaat. Er is een dunne kleilaag (formatie van Urk) op een diepte van circa 25 m-mv aanwezig. Een tweede, dikkere kleilaag (Formatie van Sterksel) is aanwezig op een diepte van circa 45-50 m-mv. De meest waarschijnlijke lithoklassen (zand/klei) zijn ook weergegeven in onderstaande figuren, waaruit blijkt dat de kleilaag op ca. 25 m-mv bij de projectlocatie ontbreekt of een zeer beperkte laterale continuïteit heeft. De voornamelijk uit klei bestaande deklaag en de kleilaag van de formatie van Sterksel op ca. 45 m-mv zijn wel duidelijk aanwezig in het projectgebied en fungeren als scheidende lagen. Met de aanwezigheid van deze kleilagen en de tussenliggende grofzandige lagen lijkt ASR kansrijk binnen het projectgebied.

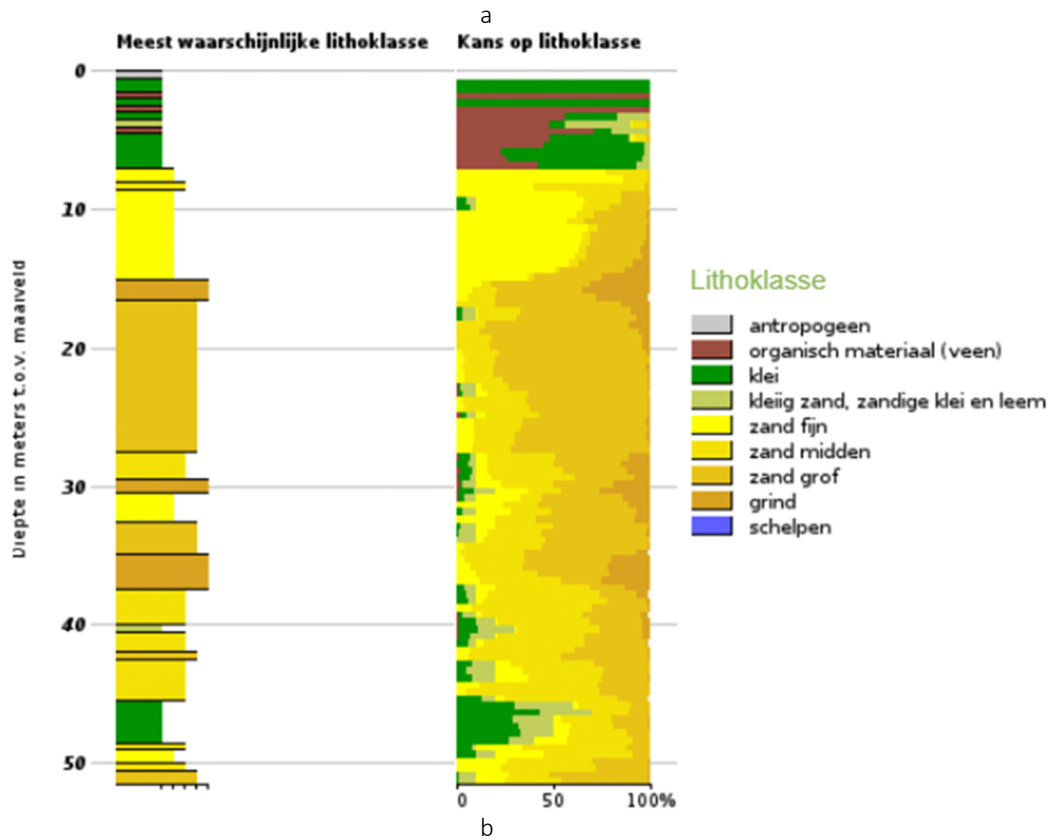
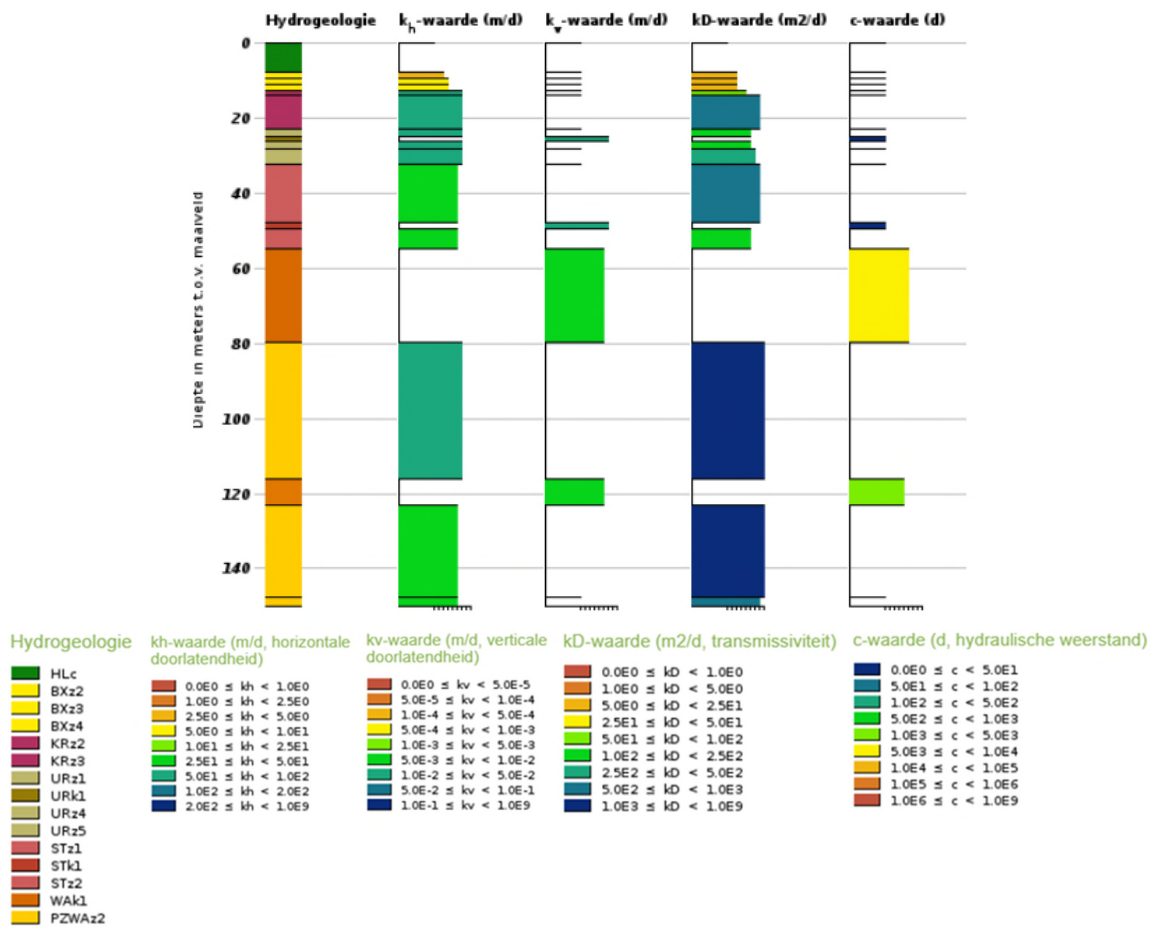
De grofzandige lagen tussen de deklaag op ca. 7 m-mv en de kleilaag op ca. 45 m-mv van de formatie van Sterksel vormen samen een watervoerend pakket (aquifer). Daarmee heeft het pakket een totale maximale dikte van zo'n 38 meter. Uit Figuur 2-2 blijkt dat 50 m/dag een aannemelijke richtwaarde is voor de gemiddelde doorlatendheid van het hele eerste watervoerend pakket bij de projectlocatie.

Het tweede watervoerend pakket omvat het diepte-interval van 80 t/m 115 m-mv, en wordt ingesloten door de Waalre klei (55 – 80 m-mv) en een diepere dunnere kleilaag van de Peize-Waalre formatie (115 – 125 m-mv). Met een geschatte doorlatendheid van 50 m/dag, lijkt ook dit tweede watervoerend pakket qua lithologie geschikt voor ASR.



Figuur 2-1. Opbouw ondergrond City West (Dinoloket, 2020). **a**: oost-west doorsnede van ca. 1,5 km in lengte; **b**: legenda; **c**: hydrogeologische formaties t/m ca. 100 m-NAP; **d**: meest waarschijnlijke lithoklasse t/m ca. 50 m-NAP.

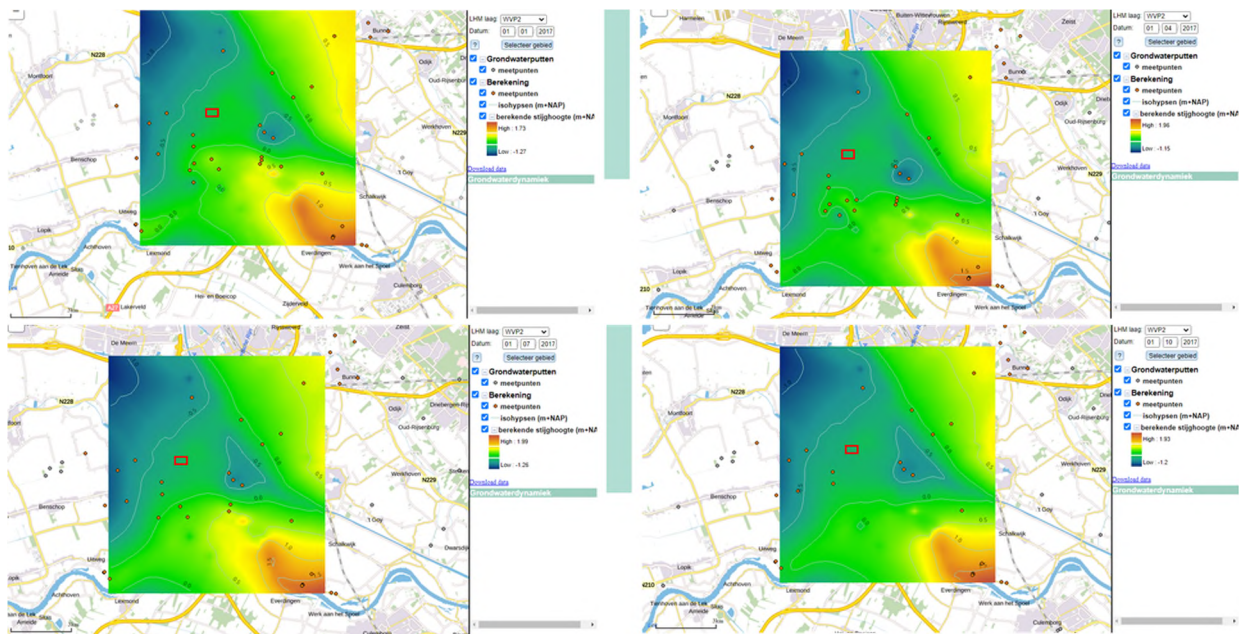




Figuur 2-2: Geïnterpoleerde hydrogeologische formaties en parameters (a) en meest waarschijnlijke lithoklassen (b) bij het projectgebied (X = 133750, Y = 448984 (RD)) (Dinoloket, 2021).

## 2.2 Laterale grondwaterstroming

De grondwaterstroming rondom de projectlocatie is beperkt (maximaal ca. 10 m/jaar; Figuur 2-3) en de exacte richting is zonder extra metingen moeilijk te bepalen. Het projectgebied ligt op een zadelpunt, met ten oosten, noorden en westen lagere stijghoogtes en in het zuiden wat hogere stijghoogtes. De seizoensvariatie is beperkt en laat dezelfde patronen zien. In januari is de stijghoogte door het neerslagoverschot over het algemeen hoger t.o.v. de overige seizoenen. In het tweede watervoerend pakket heerst een beperkte grondwaterstroming die gericht is naar het westen (Figuur 2-4). De gegeven stijghoogteverdelingen zijn afkomstig van het LHM-model en zijn gebaseerd/geijkt op stijghoogte waarnemingen uit 2017. Overige grondwatergebruikers (zoals open bodemenergiesystemen) kunnen voor een lokale afwijking van dit patroon hebben gezorgd (zie ook sectie 2.4).



Figuur 2-3: Isohypsen (lijnen met gelijke stijghoogtes) in het eerste watervoerend pakket (WVP1, hier gegeven als WVP2) rondom de projectlocatie (rode rechthoek); linksboven = 1-1-2017, rechtsboven = 1-4-2017, linksonder = 1-7-2017, rechtsonder = 1-10-2017.



Figuur 2-4: Isohypsens (lijnen met gelijke stijghoogtes) in het tweede watervoerend pakket (WVP2, hier gegeven als WVP 4) rondom de projectlocatie (rode rechthoek), geldend voor 1-1-2017.

### 2.3 Stijghoogte B38F0557

B38F0557 is de dichtstbijzijnde waarnemingsput met informatie over stijghoogtes in de verschillende watervoerende pakketten. In Figuur 2-5 is te zien dat deze waarnemingsput zo'n 700 meter van de projectlocatie afstaat. Het uitgangspunt is dat de gemeten grondwaterstanden bij B38F0557 representatief zijn voor de projectlocatie. De maaiveldhoogte bij B38F0557 bedraagt +1.17 m t.o.v. NAP, terwijl die bij de projectlocatie ca. +1.25 m t.o.v. NAP bedraagt. De maaiveldhoogte is daarmee ook vrijwel gelijk op beide locaties.

De gemeten stijghoogtes bij filters 1 t/m 5 van B38F0557 (Figuur 2-6 laten vrijwel geen verschillen zien, wat betekent dat het eerste watervoerend pakket (10 t/m 53 m-NAP) goed doorlatend is, ook in de verticaal. De weerstand die de mogelijke kleilaag op ca. 25 m-mv biedt, lijkt daarmee minimaal. De stijghoogtes bij filters 6 t/m 9 (Figuur 2-6) zijn een stuk lager dan die bij filters 1 t/m 5. Dit betekent dat de diepere kleilaag van de Sterksel Formatie en/of de Waalre klei weldegelijk een weerstandslaag is, en er sprake is van inzijing van grondwater naar diepere pakketten. De gemeten stijghoogtes bij filters 6 t/m 9 zijn wel erg vergelijkbaar, wat duidt op een goede verticale connectiviteit in het tweede watervoerend pakket (63 – 110 m-NAP).

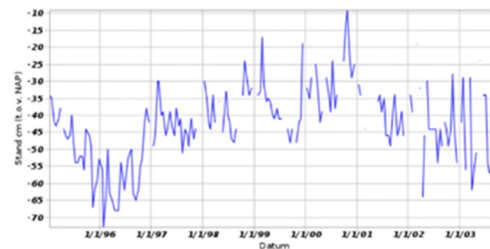
Op basis van de gemeten stijghoogtes kan uitgegaan worden van een maximale stijghoogte van -0.1 m t.o.v. NAP in het eerste watervoerend pakket. Met een veiligheidsmarge komt dat neer op ca. 1,25 m-mv. Voor het tweede watervoerend pakket geldt een maximale stijghoogte van ca. -1 m t.o.v. NAP. Met een veiligheidsmarge komt dat neer op ca. 2,15 m-mv.



Figuur 2-5: Locatie van waarnemingsput B38F0557 t.o.v. het projectgebied

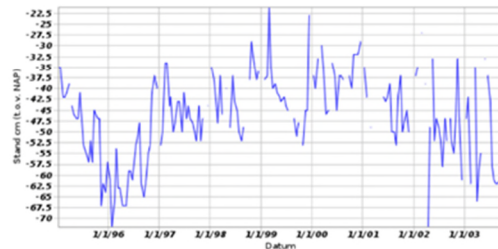
**Filter 001**

Filtertraject: -9.85 m / -11.85 m t.o.v. NAP  
 Stijghoogte 1995 – 2003: -10 - -70 cm t.o.v. NAP



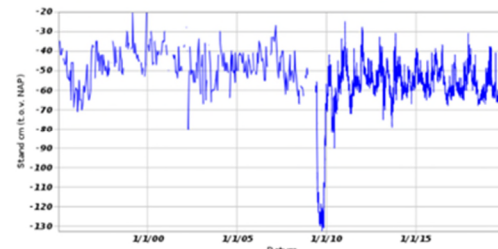
**Filter 002**

Filtertraject: -19.85 m / -21.85 m t.o.v. NAP  
 Stijghoogte 1995 – 2003: -20 - -70 cm t.o.v. NAP



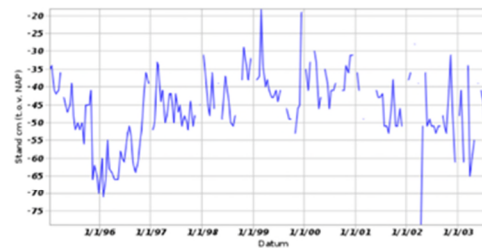
**Filter 003**

Filtertraject: -29.85 m / -31.85 m t.o.v. NAP  
 Stijghoogte 2015 – 2019: -30 - -70 cm t.o.v. NAP



**Filter 004**

Filtertraject: -38.85 m / -40.85 m t.o.v. NAP  
 Stijghoogte 1995 – 2003: -20 - -70 cm t.o.v. NAP



**Filter 005**

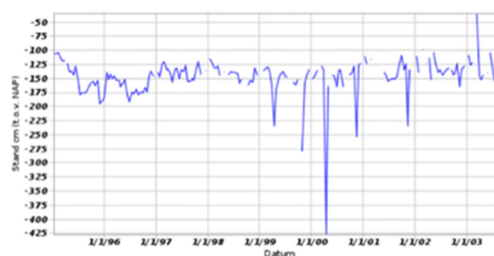
Filtertraject: -50.85 m / -52.85 m t.o.v. NAP  
 Stijghoogte 1995 – 2003: -20 - -70 cm t.o.v. NAP  
 (m.u.v. uitschieters, waarschijnlijk door tijdelijke onttrekkingen, mogelijk behorend bij de noodwinning van de WRK-leiding met een debiet van ca. 5000 m3/u).



Figuur 2-6. Stijghoogte in peilbuis B38F0557, filters 1 t/m 5.

**Filter 006**

Filtertraject: -62.85 m / -64.85 m t.o.v. NAP  
 Stijghoogte 1995 – 2003: -100 – -200 cm t.o.v. NAP  
 (m.u.v. uitschieters, waarschijnlijk door tijdelijke onttrekkingen)

**Filter 007**

Filtertraject: -82.85 m / -84.85 m t.o.v. NAP  
 Stijghoogte 1995 – 2003: -100 – -200 cm t.o.v. NAP  
 (m.u.v. uitschieters, waarschijnlijk door tijdelijke onttrekkingen)

**Filter 008**

Filtertraject: -94.85 m / -96.85 m t.o.v. NAP  
 Stijghoogte 1995 – 2019: -100 – -200 cm t.o.v. NAP  
 (m.u.v. uitschieters, waarschijnlijk door tijdelijke onttrekkingen)

**Filter 009**

Filtertraject: -107.1 m / -109.1 m t.o.v. NAP  
 Stijghoogte 1995 – 2003: -100 – -200 cm t.o.v. NAP  
 (m.u.v. uitschieters, waarschijnlijk door tijdelijke onttrekkingen)



Figuur 2-7. Stijghoogte in peilbuis B38F0557, filters 6 t/m 9.

## 2.4 Overige grondwatergebruikers

Het is belangrijk om een ondergrondse waterberging af te stemmen met andere in het gebied aanwezige ondergrondse systemen, zoals bodemenergiesystemen. Door een verandering van de lokale grondwaterstroming kan een systeem namelijk interfereren met een ander ondergronds systeem. Indien een ASR-systeem bijvoorbeeld nabij een open bodemenergiesysteem wordt gerealiseerd, kan infiltratie via de ASR-bron voor afdrijving zorgen van de warmtebel (of koudebel) die is gevormd met het bodemenergiesysteem, waardoor terugwinning van de energie minder efficiënt wordt. Naast de verandering van de lokale grondwaterstroming, is ook de grondwaterkwaliteit een aandachtspunt. Geochemische reacties die optreden nabij de ASR-put kunnen invloed hebben bij putten in de directe omgeving.

Volgens de wko-tool (<https://wkotool.nl/>) zijn er geen (provinciale) verbods-, restrictie of aandachtsgebieden bekend op de beoogde projectlocatie. Wel zijn er in de directe omgeving van het projectgebied enkele grondwateronttrekkingen (groen), gesloten bodemenergiesystemen (geel en oranje) en open bodemenergiesystemen bekend (paars) (Figuur 2-8).

Een gesloten bodemenergiesysteem kan niet interfereren met een ASR-systeem omdat een gesloten systeem de grondwaterstroming niet beïnvloedt. Een ASR-systeem kan daarentegen mogelijk wel de efficiëntie van een gesloten bodemenergiesysteem beïnvloeden doordat de grondwaterstroming verandert. Gesloten

bodemenergiesystemen staan momenteel echter op > 500 meter afstand van de projectlocatie, waardoor de invloed van een ASR-systeem beperkt zal zijn. Grondwateronttrekkingen en open bodemenergiesystemen kunnen interfereren met een ondergrondse waterberging en bevinden zich binnen 500 meter van de beoogde projectlocatie (Figuur 2-8). Deze systemen kunnen zorgen voor een lokale verstoring van de grondwaterstroming, wat de efficiëntie van een nieuw te realiseren systeem kan beïnvloeden (en vice versa).

Binnen ca. 500 m van de projectlocatie bevindt zich een grondwateronttrekking. Volgens de wko-tool is deze in gebruik, maar mogelijk betreft dit een tijdelijke bemaling (meer informatie over deze onttrekking is niet bekend). De beoogde projectlocatie bevindt zich daarnaast ca. 200 m ten noorden van de grens van de boringvrije zone van de winning Nieuwegein ('PS Nieuwegein'), en ca. 1,5 km ten noorden van het waterwingebied van deze winning, maar dat brengt verder geen restricties met zich mee (Tabel 2-2 en Figuur 2-8). Deze winning is gevestigd in het tweede watervoerend pakket (vanaf 72 m-mv). Daarnaast is de noodwinning van de WRK-leiding ('WCB') op ca. 2,5 km ten oosten van de beoogde projectlocatie gevestigd in het tweede watervoerend pakket (Figuur 2-8). De projectlocatie bevindt zich echter ook buiten deze bijbehorende boringvrije zone. Wel is bekend dat hier een uitbreiding naar een winning van max 5 Mm<sup>3</sup>/j wordt beoogd. Momenteel wordt door RHDHV berekend hoe de boringvrije zone daarmee verschuift. De verwachting is dat deze in ieder geval niet tot het projectgebied zal verplaatsen.

De bestaande open bodemenergiesystemen bevinden zich in het eerste watervoerend pakket (bovenkant filters op 21-25 m-mv en onderkant filters op 55-66 m-v; Tabel 2-1). De open bodemenergiesystemen behoren bij het Antoniusziekenhuis en bij de appartementen in het winkelcentrum (Figuur 2-8). Relatief grote debieten zijn vergund (150 – 500 m<sup>3</sup>/uur) en de hydrologische invloedgebieden zijn tevens groot. Bij toepassing van ASR in het eerste watervoerend pakket is het aannemelijk dat de door de open bodemenergiesystemen geïnduceerde grondwaterstroming voor interferentie zorgt, en is een studie naar de interferentie tussen de systemen noodzakelijk.

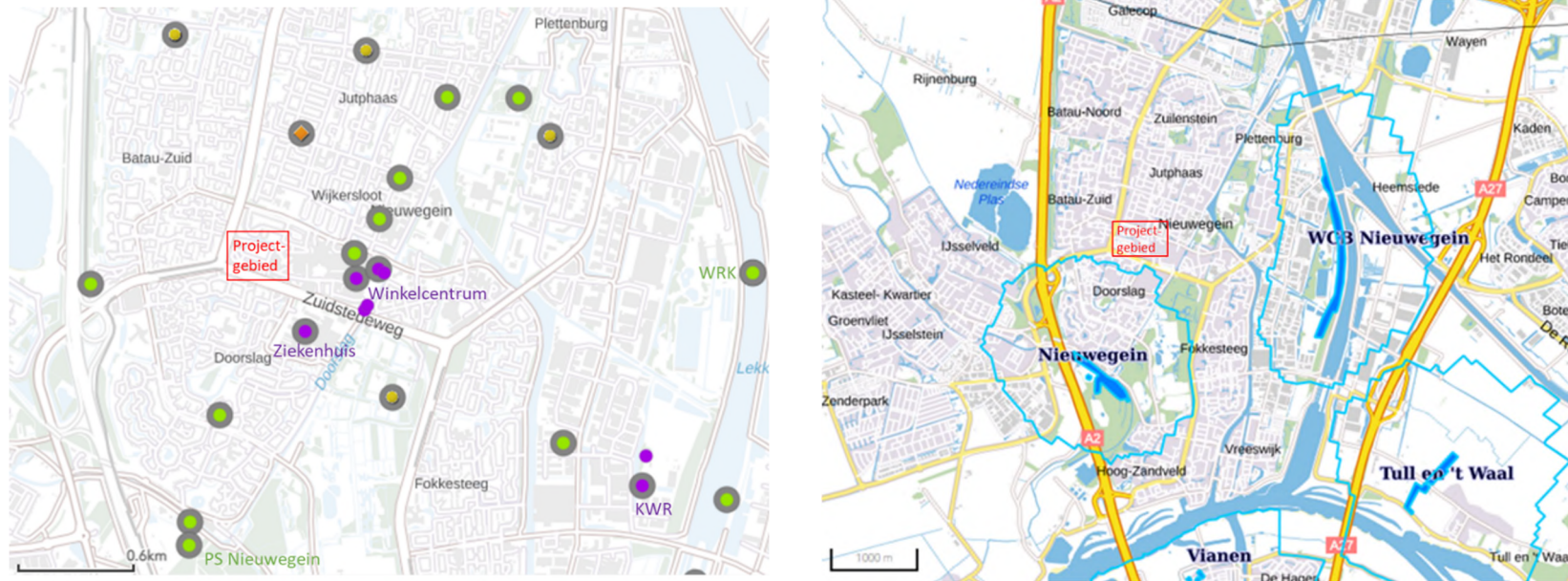
De projectlocatie ligt in het centrum van Nieuwegein, en de realisatie van aanvullende bodemenergiesystemen is niet uitgesloten. Bij gelijktijdig gebruik van het eerste watervoerend pakket, dienen WKO en ASR in ieder geval zo goed mogelijk op elkaar te worden afgestemd. Daarnaast is het in ieder geval verstandig om de beoogde ondergrondse waterberging te plaatsen op een locatie die zo ver mogelijk van eventuele interferentie staat. In geval van City Nieuwegein betekent dit een plaatsing zo ver mogelijk naar het noordwesten van het projectgebied.

Tabel 2-1: Specificaties van de open bodemenergiesystemen (WKO) in de omgeving van het projectgebied.

Naam	Aantal bronnen	Vergunde filterspecificaties			WVP	Vergund debiet		Invloedgebied		Oriëntatie t.o.v. project	X-coördinaten bronnen	Y-coördinaten bronnen
		Bovenkant	Onderkant	Lengte		m <sup>3</sup> /uur	m <sup>3</sup> /jaar	Hydrologisch	Thermisch			
		m-mv	m-mv	m				m	m			
Antonius	10	21	66	17	1	500	1,480,000	420	170	ZO	133905 – 134000	448600 – 448728
Doorslagzone	4	25	55	15	1	150	933,000	770	185	ZOO	134303 – 134406	448708 – 448919
Stadshart	8	25	55	30	1	350	1,012,000	1500	215	O	134136 – 134358	448939 – 449164

Tabel 2-2: Gegevens van de drinkwaterwinning, die ca. 1,5 km ten zuiden van het projectgebied is gelegen.

Naam locatie	Bovenkant filter (m tov NAP)	Onderkant filter (m tov NAP)	WVP	X	Y	Adres	m <sup>3</sup> /j
<b>Pompstation Nieuwegein</b>	-76	-106	2	133.400	447.500	Hooglandse Jaagpad 3-5, Nieuwegein	2.500.000



Figuur 2-8: Links: Overige grondwatergebruikers rondom de beoogde projectlocatie (rode rechthoek) geel/oranje = gesloten bodemenergiesystemen, paars = open bodemenergiesystemen, groen = grondwateronttrekkingen ([wkotool.nl](http://wkotool.nl)). Rechts: Waterwingebieden (donkerblauw) t.b.v. drinkwaterproductie met omliggende boringvrije zones (lichtblauw) ([provincie-utrecht.nl](http://provincie-utrecht.nl)).



### 3 Waterkwaliteit

De kwaliteit van te infiltreren water moet voldoen aan diverse eisen, afhankelijk van de toepassing, zoals het Infiltratiebesluit (Ib), de Kaderrichtlijn Water (KWR) en eventuele aanvullende vergunningseisen. In Tabel 3-1 zijn ter referentie de normen weergegeven die gelden voor de ondergrondse waterberging in Spangen, Rotterdam ('Norm IB / WCB'; Zuurbier & van Dooren, 2019). Afwijkende vergunningseisen kunnen gelden in Nieuwegein t.o.v. deze in Rotterdam geldende eisen. Daarnaast moet men rekening houden met richtlijnen om verstopping van de infiltratiebron zo veel mogelijk te voorkomen, welke tevens zijn opgenomen in deze tabel ('Operationele norm').

Hemelwater dat van daken en straten wordt verzameld voldoet doorgaans niet direct aan deze richtlijnen<sup>1</sup>. Grijs water zal ook niet direct voldoen aan deze richtlijnen. Enige vorm van voorzuivering is dus vereist om het water te kunnen/mogen infiltreren. De gemiddelde waterkwaliteit van afstromend hemelwater die in Spangen (Rotterdam) is waargenomen (vóór een voorzuivering), is gegeven in Tabel 3-1 ('Afstromend hemelwater (Spangen)'). Dit hemelwater wordt verzameld van een verhard oppervlak dat met name bestaat uit parkeerplaats. Enige bijmenging met grondwater is mogelijk door lekkages in het afgekoppelde rioolstelsel. Het verzamelde hemelwater wordt vervolgens gezuiverd voor infiltratie naar de diepere ondergrond.

Het is belangrijk om de oorspronkelijke grondwaterkwaliteit in kaart te brengen, omdat deze niet mag verslechteren (KRW). In Tabel 3-1 zijn de te verwachten gemiddelde achtergrondconcentraties weergegeven van verschillende parameters die in twee verschillende studies (BTO 2008.004<sup>2</sup> en KWR 2019.117<sup>3</sup>) zijn gemeten nabij het kantoor van KWR in Nieuwegein (RD-coördinaten ca. X = 135864.64, Y = 448208.91) in het grondwater in WVP1a (eerste watervoerend pakket tussen de deklaag en de kleilaag op 25 m-mv) en in WVP1b (eerste watervoerend pakket (tussen 25 m-mv en 50 m-mv)). De bodemopbouw komt hier zeer goed overeen met de bodem bij het projectgebied. Van het tweede watervoerend pakket (ca 80 – 115 m-mv) zijn vrijwel geen kwaliteitsgegevens beschikbaar. Wel is bekend dat hier ook zoet grondwater aanwezig is, omdat de winningen van Vitens en Waternet hierin gevestigd zijn.

In Tabel 3-1 zijn ook de normen weergegeven die zijn opgenomen in het Drinkwaterbesluit (2018), welke als referentie kunnen dienen voor hergebruik van teruggewonnen water na opslag in de ondergrond. In het stedelijk waterconcept in City Nieuwegein zal ook een deel van het gezuiverd afvalwater in de ondergrond worden opgeslagen voor hergebruik op een later moment. Het gaat hierbij om restwater uit de huishoudens dat enkel afkomstig is uit douche en bad ('lichtgrijs' water).

---

<sup>1</sup> In vervolgonderzoek dient te worden uitgezocht of moet worden getoetst op gemiddelde of maximale concentraties

<sup>2</sup> <http://api.kwrwater.nl/uploads/2016/12/BTO-2008.004-De-microbiologische-veiligheid-van-de-60-dagenzone-rond-grondwaterwinning.pdf>

<sup>3</sup> <http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/05/KWR-2019.117-Prestaties-en-effecten-van-ondergrondse-warmteopslag.-Een-verkenning-voor-het-P2X-project.pdf>

Tabel 3-1: Overzicht van waterkwaliteitsgegevens die ter referentie kunnen worden gebruikt voor toepassing van ASR met afstromend hemelwater in het eerste watervoerend pakket in de omgeving van Nieuwegein.

Parameter	Eenheid	Norm IB/WCB <sup>1</sup>	Operationele norm	Afstromend hemelwater (Spangen)			Verwachte achtergrondconcentratie			DWB <sup>3</sup>
				Min	Gem	Max	WVP1a		WVP1b	
							<sup>4</sup> BTO 2008.004	<sup>5</sup> KWR 2019.117	<sup>5</sup> KWR 2019.117	
Troebelheid (veld)	NTU	-	1	6.1	11.4	23	-	-	-	-
Onopgeloste stof	mg/l	0,5	0,1	< 1	5.7	12	-	-	-	-
MFI	s/L <sup>2</sup>	-	3	-	-	-	-	-	-	-
EGV	µS/cm	-	-	516	793	1064	847	511	371	1250
pH (veld)	-	-	-	6.5	7.1	7.5	7.54	6.74	7.1	> 7, < 9.5
pH (lab)	-	-	-	-	-	-	-	7.1	7.4	> 7, < 9.5
Temperatuur	°C	-	-	8	13.0	20	12.9	10.5	10.9	< 25
Cl	mg/l	100	-	39	112	200	104	49	31	< 150
Na	mg/l	120	-	26	75	180	44	20	29	< 150
Ca	mg/L	-	-	41	67	94	105	131	66	-
Mg	mg/L	-	-	6.9	12.4	19	14.5	13.5	7.5	-
Hardheid	mmol/L	-	-	3.2	4.4	6.2	-	3.8	2.0	> 1
Alkaliniteit	mg CaCO3/L	-	-	120	211	280	340	265	162	> 49
K	mg/l	-	-	3.4	6.5	9.6	1.3	1.5	1.2	-
NH <sub>4</sub>	mg N/l	2,5	-	0.49	1.04	2.3	0.93	0.93	0.59	< 0.16
NO <sub>3</sub>	mg N/l	11,3 <sup>2</sup>	-	< 0.05	0.15	0.29	0.01	< 0.2	< 0.2	< 11.3
NO <sub>2</sub>	mg N/l	-	-	-	-	-	-	< 0.01	< 0.01	< 0.03
Totaal PO <sub>4</sub>	mg P/l	6,9 <sup>2</sup>	-	< 0.05	0.1	0.34	-	0.003	0.008	-
TOC	mg C/l	-	-	-	-	-	-	3.7	4.6	-
DOC	mg C/l	-	2	5.3	10	18	-	3.9	4.2	-
SO <sub>4</sub>	mg/L	-	-	< 30	39	61	1.43	87	40	< 150
CH <sub>4</sub>	mg/L	-	-	-	-	-	-	0.031	0.025	-
Al	µg/l	-	-	-	-	-	-	3	3	< 200
As	µg/l	18,7 <sup>2</sup>	-	< 4	< 4	< 4	-	30.7	13.8	< 10
B	µg/l	-	-	-	-	-	-	16	15	< 500
Ba	µg/l	500 <sup>2</sup>	-	35	48	77	-	157	84	-
Br	µg/l	-	-	-	-	-	180	75	43	-
Cd	µg/l	0,35 <sup>2</sup>	-	< 1	< 1	< 1	-	< 0.05	< 0.05	< 5
Co	µg/l	0,7	-	< 2	< 2	< 2	-	0.7	0.5	-
Cr	µg/l	-	-	-	-	-	-	0.6	< 0.5	< 50
Cu	µg/l	1,3	-	< 5	< 5	< 5	-	0.8	0.4	< 2000
Fe (totaal)	µg/l	-	10	530	1533	3500	1900	10167	2705	< 200
Fe (opgelost)	µg/l	-	10	650	1313	2200	-	10167	2705	< 200
Hg	µg/l	0,01	-	< 0.02	< 0.02	0.02	-	< 0.1	< 0.1	< 1
Mn	µg/l	-	-	190	479	690	975	1151	433	< 50
Mo	µg/l	3,6	-	< 2	< 2	2.8	-	0.9	1.6	-
Ni	µg/l	20 <sup>2</sup>	-	< 5	< 5	< 5	-	1	0.4	< 20
Pb	µg/l	7,4 <sup>2</sup>	-	< 5	< 5	< 5	-	< 0.2	< 0.2	< 10
Sb	µg/l	-	-	-	-	-	-	< 0.05	< 0.05	< 5
Se	µg/l	-	-	-	-	-	-	< 0.5	< 0.5	< 10
Si	µg/l	-	-	-	-	-	-	8617	7865	-
Zn	µg/l	65 <sup>2</sup>	--	26	131	220	-	4.4	1.3	< 3000
Naftaleen	µg/l	0,01	-	< 0.05	< 0.05	0.15	-	-	-	-
Fenantreen	µg/l	0,003	-	< 0.01	< 0.01	0.29	-	-	-	-
Antraceen	µg/l	0,0007	-	< 0.01	< 0.01	0.05	-	-	-	-
Fluorantheen	µg/l	0,003	-	< 0.01	< 0.01	0.86	-	-	-	-
Chryseen	µg/l	0,003	-	< 0.01	< 0.01	0.38	-	-	-	-
Benzo(a)antraceen	µg/l	0,0001	-	< 0.01	< 0.01	0.49	-	-	-	-
Benzo(a)pyreen	µg/l	0,0005	-	< 0.01	< 0.01	0.52	-	-	-	-
Benzo(k)fluorantheen	µg/l	0,0004	-	< 0.01	< 0.01	0.26	-	-	-	-
Indeno(1,2,3cd)pyreen	µg/l	0,0004	-	< 0.02	< 0.02	0.42	-	-	-	-
Benzo(ghi)peryleen	µg/l	0,0003	-	< 0.02	< 0.02	0.41	-	-	-	-
Benzeen	µg/l	0,2	-	< 0.2	< 0.2	< 0.2	-	-	-	-
Ethylbenzeen	µg/l	4	-	< 0.2	< 0.2	< 0.2	-	-	-	-
Tolueen	µg/l	7	-	< 0.2	0.27	1.1	-	-	-	-
SOM xylenen	µg/l	0,2	-	0.2	0.24	0.6	-	-	-	-
Minerale olie	µg/l	50 <sup>2</sup>	-	< 50	< 50	< 50	-	-	-	-
AMPA	µg/l	< 0,1 <sup>2</sup>	-	< 0.01	0.05	0.14	-	-	-	-
Glyfosaat	µg/l	< 0,1 <sup>2</sup>	-	< 0.01	< 0.01	< 0.01	-	-	-	-
Glufosinaat	µg/l	< 0,1 <sup>2</sup>	-	< 0.01	< 0.01	< 0.01	-	-	-	-

<sup>1</sup> De normen/streefwaarden van overige parameters conform de Wet Circulaire Bodemsanering voor diep grondwater (>10 m-mv): <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2013-16675.html>

<sup>2</sup> Parameters waarvoor de streefwaarde/norm conform de vergunning is.

<sup>3</sup> Normen zoals deze zijn opgenomen in het drinkwaterbesluit (DWB; 2018: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/2018-07-01>).

<sup>4</sup> <http://api.kwrwater.nl/uploads/2016/12/BTO-2008.004-De-microbiologische-veiligheid-van-de-60-dagenzone-rond-grondwaterwinningen.pdf>

<sup>5</sup> <http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/05/KWR-2019.117-Prestaties-en-effecten-van-ondergrondse-warmteopslag-Een-verkenning-voor-het-P2X-project.pdf>

## 4 Waterbalans

De maximale inschatting van hemelwater dat effectief via straten en daken van het hele plangebied kan worden verzameld is gelijk aan ongeveer 17.500 m<sup>3</sup>/jaar in een gemiddeld jaar. Dat staat gelijk aan een gemiddeld debiet van ongeveer 48 m<sup>3</sup>/dag, oftewel **2 m<sup>3</sup>/uur**. De hoeveelheid hemelwater is echter niet gelijkwaardig verdeeld over het jaar. Conform de bergingseis van de gemeente Nieuwegein moet rekening worden gehouden met piekbuien van 70 mm in één uur, wat voor het plangebied City Nieuwegein (inclusief onverhard openbaar gebied) neerkomt op ongeveer 3300 m<sup>3</sup>. Dit water zal grotendeels in tijdelijke bergingselementen, zoals daken en een ondergrondse buffer onder het busstation, worden opgevangen voordat het naar de ondergrondse waterberging stroomt (50 mm bergingseis). Daarnaast zal bij een dergelijke extreme piekbui een deel van het hemelwater niet kunnen worden vastgehouden en rechtstreeks worden afgevoerd naar het oppervlaktewater. Het ontwerpdebiet van de ondergrondse waterberging kan daardoor een stuk lager uitpakken. Het maximale afgekoppelde oppervlak komt sterk overeen met het ontwerp van het afgekoppelde oppervlak in Spangen. Het maximale debiet dat bij het ontwerp van infiltratie van **hemelwater** wordt aangenomen (na zuivering) is daarom gelijk aan het ontwerpdebiet in Spangen, namelijk **30 m<sup>3</sup>/uur**.

De hoeveelheid lichtgrijs water die binnen het stedelijk waterconcept vrijkomt en beschikbaar is voor infiltratie bedraagt ongeveer 23.000 m<sup>3</sup>/jaar. De verwachting is dat dit op jaarbasis niet veel fluctueert. Op dag- en weekbasis zal hier waarschijnlijk wel een fluctuatie in zichtbaar zijn, aangezien men bijvoorbeeld doorgaans 's ochtends óf juist 's avonds doucht. Het uitgangspunt voor de ondergrondse waterberging is echter dat deze pieken kunnen worden opgevangen met een tijdelijke berging en met een vertraagde doorvoer via het voorzuiveringssysteem. Daarmee komt de schatting van de dagelijkse hoeveelheid **lichtgrijs water** uit op **63 m<sup>3</sup>/dag** oftewel **2,6 m<sup>3</sup>/uur**. Het gesommeerde **maximale infiltratiedebiet** dat daarmee als uitgangspunt voor het ontwerp wordt aangenomen, bedraagt ca. **33 m<sup>3</sup>/uur**. Het debiet zal doorgaans niet meer dan **15 m<sup>3</sup>/uur** bedragen bij de volumes die tot op heden bekend zijn.

De maximale watervraag voor stedelijk groen (openbaar groen, groene gevels en toevoer blauw-groene daken in droge perioden) bedraagt maximaal circa 10.000 m<sup>3</sup>/jaar, hoewel dit sterk afhankelijk is van het toegepaste groenontwerp. Als uitgangspunt wordt aangenomen dat deze watervraag volledig plaatsvindt in de periode april – oktober, wat neerkomt op een watervraag van gemiddeld ca. 55 m<sup>3</sup>/dag (ca. 2,3 m<sup>3</sup>/uur). Op warme, heldere en winderige dagen kan de verdamping voor een grote watervraag zorgen, waarbij voor stedelijk groen met een benodigd onttrekkingsdebiet van richting de 5 m<sup>3</sup>/uur rekening moet worden gehouden. Daarnaast wordt in het stedelijk waterconcept een deel van het opgeslagen water gebruikt voor toiletspoeling. Dagelijks gaat het om 50,6 m<sup>3</sup>, oftewel 2,1 m<sup>3</sup>/uur. Als uitgangspunt zal daarom een **onttrekkingsdebiet** van **8 m<sup>3</sup>/uur** worden aangenomen.

Voor periodiek onderhoud van de infiltratiebron wordt backflushen van de winfilters aangeraden. Mogelijk zal dit gebeuren met een debiet hoger dan het ontwerpdebiet. De periode van een backflush is zeer kort, waardoor men niet direct rekening hoeft te houden met de hydrologische effecten op de omgeving daarvan.

## 5 Voorzuivering

### 5.1 Aandachtsparameters

Er zullen verschillen bestaan tussen de concentraties van stoffen in afstromend hemelwater van straten en van daken. Water dat afstroomt van straten is doorgaans sterker vervuild dan van daken, waardoor aan water van straatniveau mogelijk extra eisen worden gesteld. De volgende parameters verdienen bij zuivering van afstromend hemelwater in stedelijk gebied in ieder geval bijzondere aandacht indien het als infiltratiewater benut gaat worden:

- zwevend stof (= onopgelost stof), troebelheid en MFI
- Zink (Zn)
- Opgelost organisch koolstof (DOC)
- Pathogenen (Microbiologische indicatoren zoals E. Coli)
- IJzer (Fe)
- Chloride (Cl) en natrium (Na)
- Antropogene stoffen: PAK's, BTEX en bestrijdingsmiddelen

Wat betreft grijs water komen daar de volgende stoffen bovenop:

- Nutriënten (NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>)
- Antropogene stoffen afkomstig van persoonlijke verzorgingsproducten (medicijnresten, hormonen, organische microverontreinigingen, microplastics, etc.)

**Zwevend stof, troebelheid, en MFI** zijn allen maten voor de concentratie van onopgeloste bestanddelen, en kunnen bij te hoge waarden resulteren in fysische verstopping van de infiltratieput.

**Zn** is een zwaar metaal dat doorgaans hoge concentraties kan vertonen in afstromend hemelwater, door contact met daken en straten (deels afhankelijk van het type toegepaste dakgoten). Zn is doorgaans geadsorbeerd aan zwevend stof.

**DOC en nutriënten** kunnen zorgen voor een stimulatie van biologische groei (algengroei) in het afstromende hemelwater en/of grijs water, wat weer kan resulteren in biologische verstopping van de infiltratieput door vorming van bio-films. Deze stoffen moeten daarom ook zoveel mogelijk worden verwijderd met een voorzuivering. In afstromend hemelwater zullen nutriënten geen heel hoge concentraties hebben, maar in grijs water kan dit wel het geval zijn. Ook kunnen **pathogenen** (microbiologische indicatoren zoals E. Coli) aanwezig zijn in grijs water, maar ook in hemelwater doordat het bij afstroming in contact kan komen met bijvoorbeeld vogelpoep. Deze indicatoren zijn met name cruciaal wanneer het water wordt teruggewonnen en hergebruikt.

**Fe** vertoont in afstromend hemelwater doorgaans lage concentraties. Door bijmenging van lokaal grondwater in het afgekoppelde rioolsysteem (zoals in Spangen waarschijnlijk het geval was), kunnen hogere concentraties voorkomen. Gezien de relatief hogere achtergrondconcentraties van Fe in het ontvangende watervoerend pakket zou dit geen probleem zijn, maar het kan wel zorgen voor mechanische putverstopping door vorming van ijzernerslagen in het infiltratiewater.

Het grondwater zal nabij de projectlocatie zoet zijn (de verwachte concentraties **Cl** en **Na** zijn laag). Omdat in afstromend hemelwater, met name vanaf straten, de concentraties Cl en Na net wat hoger kunnen zijn, sluit dit mogelijk niet aan op de vergunningseisen. M.b.t. het terugwinnen van water en het drinkwaterbesluit zal dit echter niet problematisch zijn.

**Antropogene stoffen** als PAK's, BTEX en bestrijdingsmiddelen kunnen aanwezig zijn in afstromend hemelwater. Daarnaast is het mogelijk dat restanten van persoonlijke verzorgingsproducten en medicijnresten in grijs water worden aangetroffen, waaronder bijvoorbeeld medicijnresten. Voor deze stoffen moet voldaan worden aan de normen van het infiltratiebesluit en de KRW, en aan aanvullende vergunningseisen.

## 5.2 Beoogd ontwerp

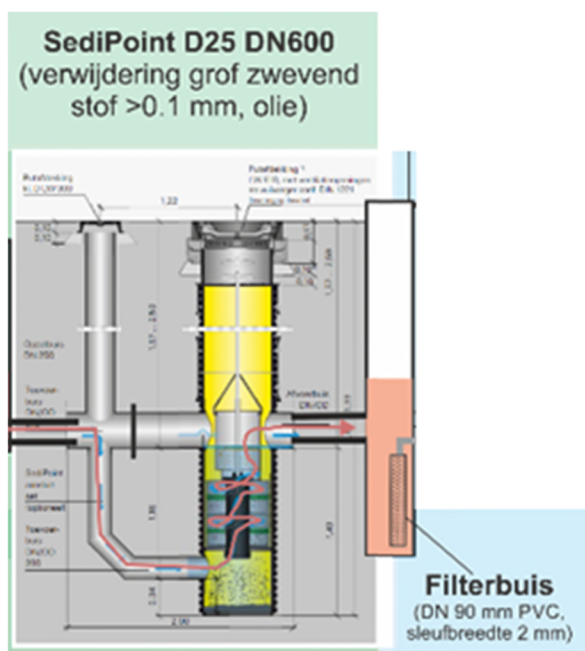
Wat betreft bovenstaande overzicht, is het in ieder geval verstandig om een zuivering van hemelwater te realiseren die gericht is op het volgende:

- Afvangen van grove delen (bijvoorbeeld blad of zwerfafval):
  - o Verwijdering van grof zwevend stof (>0,1 mm) en eventuele oliën met behulp van bijvoorbeeld een SediPoint (Figuur 5-1).
- Beluchting van het verzamelde water (contact met zuurstof):
  - o De beluchting kan het beste plaatsvinden met een cascade / watervalletje (ca. 20 cm hoogte) en zoveel mogelijk als een waterfilm, om verneveling en daardoor vorming van mogelijk met pathogenen besmette aerosolen (en kans op besmetting door inhalatie) te reduceren.
  - o Voldoende beluchting leidt tot verhoogde biologische activiteit in de volgende zuiveringsstap (zoals een zandfilter), waardoor **DOC** en **nutriënten** op natuurlijke wijze kunnen worden afgebroken.
  - o Door het toestromende water voldoende te beluchten, kan eventueel opgelost **Fe** vóór de voorzuivering neerslaan tot Fe-vlokken, welke bezinken en kunnen worden gefilterd (inclusief coprecipitatie van **PO<sub>4</sub>**). Op deze vlokken kan ook adsorptie plaatsvinden van Fe voor verdere verwijdering. Dit geldt tevens voor **Mn**. In principe wordt verwacht dat de concentratie Fe laag is in het verzamelde hemelwater, tenzij er bijmenging is van lokaal grondwater.
- Natuurlijke zandfiltratie met beplanting (denk aan helofytenfilter; Figuur 5-2):
  - o Zandfiltratie zorgt voor het afvangen van **zwevend stof**, waardoor de **troebelingsgraad** en **MFI** van het water zullen afnemen. Het afvangen van zwevend stof zorgt ook voor het afvangen van geadsorbeerd **Zn** (en eventueel andere zware metalen), neergeslagen **Fe** (en aangehecht **PO<sub>4</sub>**), en vaste **(micro)biologische componenten**.
  - o Opgelost **Fe** en **PO<sub>4</sub>** hechten beter aan ijzeroxiderijk zand. Als Fe hoge concentraties vertoont in het verzamelde water, bijvoorbeeld door bijmenging van lokaal grondwater, wordt aangeraden om een laag ijzeroxiderijk zand toe te passen in een zandfiltratie.
  - o Nitrificatie (omzetting van **NH<sub>4</sub>** naar NO<sub>3</sub>) door bacteriën in het zandfilter.
  - o De stromingsduur door het filter moet zo lang mogelijk zijn, om de retentie en afbraak van ongewenste stoffen te vergroten. Het water moet goed verdeeld worden én een maximale (verticale) doorstromingsnelheid hebben van ca. 0,5 m/h (lieft 0,2 m/h). Het benodigde oppervlak van het filter kan zodoende berekend worden op basis van deze snelheid en het gewenste infiltratiedebiet. Een infiltratiedebiet van 10 m<sup>3</sup>/uur staat zodoende bijvoorbeeld gelijk aan een zandfiltratie met een oppervlak van 20 – 50 m<sup>2</sup>. Een voorbeeld van een voorzuivering, zoals die in Spangen is gerealiseerd (zogenaamde 'Bluebloqs'), is opgenomen in Figuur 5-2.
  - o Continue voorziening en doorstroming van water zorgt ervoor dat een zandfilter zeer effectief is in het desinfecteren van water (binden en doden van virussen, bacteriën en algen).

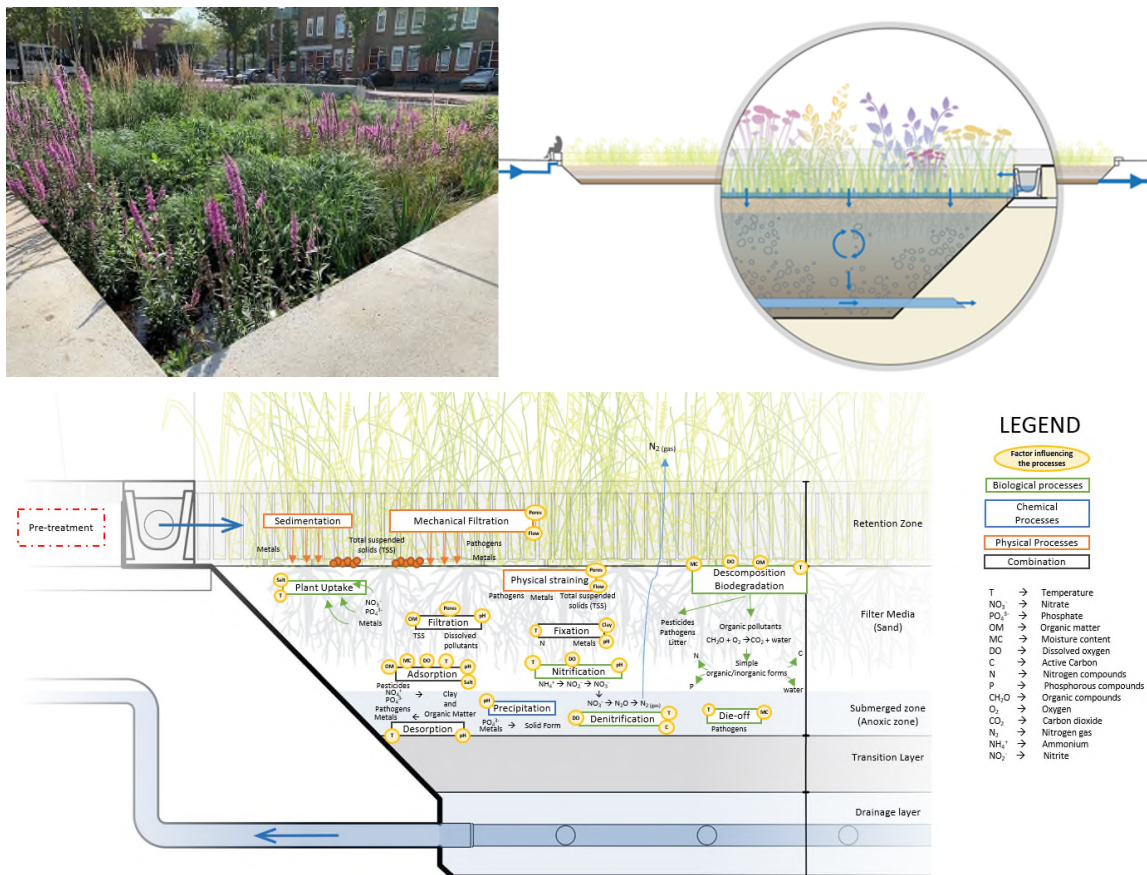
- o Een dergelijke voorzuivering kan direct fungeren als stedelijk groen en heeft vanwege verdamping een verkoelende werking op de omgeving.

### 5.3 Monitoring

Om te kunnen beoordelen of de voorzuivering naar behoren functioneert, moeten er vóór en ná de zuivering monsters genomen kunnen worden (en eventueel bij tussenstappen). Dit betekent dat tappunten moeten worden geïnstalleerd op de aan- en afvoerleidingen. Ook kunnen continue sensoren worden geplaatst op de aan- en afvoerleidingen, zoals EGV-, debiet-, en temperatuursensoren. Daarnaast kunnen niveau- of druksensoren een uitkomst zijn als er sprake is van een natuurlijke zandfiltratie als voorzuivering.



Figuur 5-1: SediPoint die het grove vuil vóór de natuurlijke voorzuivering afvangt.



Figuur 5-2: Impressie van de voorzuivering die is gerealiseerd bij UWB Spangen ('Bluebloqs').

## 6 Ondergrondse waterberging

### 6.1 Conventionele ASR

Het grondwater in het eerste watervoerend pakket heeft zeer lage concentraties van Cl en Na, en is dus **zoet**.

Daardoor zal er een verwaarloosbaar dichtheidsverschil bestaan tussen infiltratiewater en lokaal grondwater, en zal opdrijving van het geïnfiltreerde water geen issue zijn. Dit maakt het mogelijk om **conventionele ASR** toe te passen over de volledige dikte van het watervoerend pakket. Er is geen noodzaak om een geavanceerde putconfiguratie te ontwikkelen ter voorkoming van verticale effecten. Er is op de projectlocatie geen verziltingsrisico. Omdat daarnaast de laterale grondwaterstroming bij de projectlocatie naar verwachting beperkt lijkt, zal het geïnfiltreerde water niet of nauwelijks afdrijven, en blijft de bel van infiltratiewater beschikbaar rondom de infiltratiebron. Wel blijven overige grondwatergebruikers (open bodemenergiesystemen) een aandachtspunt.

### 6.2 Hydrologische effecten

De maximale hydrologische effecten voor een stationaire (worst-case) pompsituatie kunnen worden berekend met behulp van de formule van De Glee. Hierbij is uitgegaan van de volgende aannames:

- Dikte van watervoerend pakket van 38 meter;
- Een hydraulische conductiviteit (K) van 50 m<sup>3</sup>/dag in het eerste watervoerend pakket;
- Een weerstand in de deklaag van 2500 dagen;
- Gangbare boorgatdiameter van 400 mm;
- Achtergrondstijghoogte van 1,25 m-mv (maximale schatting);

#### 6.2.1 Infiltratie

Drie scenario's zijn uitgewerkt om de hydrologische effecten van infiltratie te bepalen:

- Verwacht debiet van 15 m<sup>3</sup>/uur;
- Maximaal beoogde debiet van 35 m<sup>3</sup>/uur;
- Maximaal mogelijke debiet m.b.t. opbarstingsrisico.





Figuur 6-1. Voordrukbuisk (waterzuil) inclusief hendel op het plein naast het Bluebloqs filter.

Voor de twee eerstgenoemde scenario's wordt men doorverwezen naar de waterbalans. Het laatstgenoemde scenario behoeft een nadere toelichting. Water opslaan in de ondergrond is niet zonder risico. Door geleidelijke en onvermijdelijke verstopping van het filter van de infiltratiebron, is een steeds grotere druk benodigd om een bepaald debiet te kunnen infiltreren. Wanneer water direct met een pomp wordt aangevoerd, is het debiet een vaste waarde en bestaat het risico dat de druk te groot wordt en leidt tot opbarsting van de deklaag. Om dit te voorkomen, wordt sterk aanbevolen om onder vrij verval te infiltreren, mogelijk m.b.v. een voordrukbuisk (**Error! Reference source not found.**). Water wordt na voorzuivering naar deze buisk gepompt, waarna het onder vrij verval en met een vaste druk naar de infiltratieput kan worden gevoerd. Zo bestaat er geen risico op opbarsting van de deklaag, maar putverstopping zal zich bij een vaste infiltratiedruk op termijn uiten als een afnemend debiet. Om opbarsting zoveel mogelijk te voorkomen, mag de druk op de bronnen niet hoger worden dan ca. **1,4 m+mv** (gehanteerde vuistregel:  $0,2 \cdot \text{dikte deklaag}$ ; Olsthoorn, 1982). Door drukverlies in de infiltratieleiding en –bron mag het niveau in de voordrukbuisk wellicht iets hoger zijn, maar 1,4 m+mv kan als maximaal toegestane infiltratiedruk worden aangenomen in het ontwerp. Uit de formule van De Glee en de genoemde aannames staat deze druk gelijk aan een infiltratiedebiet van  $140 \text{ m}^3/\text{uur}$ .

In Tabel 6-1 zijn voor de verschillende scenario's de resultaten uitgewerkt. Het maximaal mogelijke infiltratiedebiet met één put kan in het volledige eerste watervoerend pakket oplopen tot ca.  $140 \text{ m}^3/\text{uur}$ , uitgaande van de fysische mogelijkheden. Dit is een aanzienlijk debiet en zal leiden tot grote stijghoogteveranderingen in de omgeving, met een invloedgebied (gebied waarbij een stijghoogtetoeename van  $> 5 \text{ cm}$  kan worden waargenomen) van ca. 3600 meter. Dit is een aanzienlijk groot gebied. Dit debiet zal echter niet benodigd zijn voor de waterbalans die geldt voor het project en het voorbeeld laat slechts zien dat opbarsting geen risico zal zijn bij de beoogde debieten. De beoogde en maximale infiltratiedebieten van 15 en  $35 \text{ m}^3/\text{uur}$  zullen tot meer acceptabele invloedgebieden leiden van respectievelijk 1600 en 500 meter. Om deze laatstgenoemde debieten te halen, is een bovengrondse voordrukbuisk niet noodzakelijk om onder vrij verval te kunnen infiltreren aangezien de maximale benodigde

stijghoogte bij de bron ca. 50 cm-mv bedraagt. Niettemin kan door putverstopping, die in de loop van de tijd optreedt, op de lange termijn een groter stijghoogteverschil nodig zijn om het benodigde infiltratiedebiet te halen. Daarom is het raadzaam alsnog rekening te houden met de aanleg van een bovengrondse voordrukbuis.

Tabel 6-1: Hydrologische effecten van infiltratie volgens de drie verschillende scenario's.

	Gemiddeld beoogd debiet (15 m <sup>3</sup> /uur)	Maximaal beoogd debiet (35 m <sup>3</sup> /uur)	Maximaal mogelijk debiet (140 m <sup>3</sup> /uur)
Verhoging stijghoogte bij bron	0,28 m	0,66 m	2,65 m
Max stijghoogte nabij bron	0,97 m-mv	0,59 m-mv	1,40 m+mv
Invloedsgebied (5 cm)	500 m	1400 m	3600 m
Invloedsgebied (10 cm)	100 m	650 m	2500 m

Van de hydraulische weerstand van de deklaag boven het eerste watervoerende pakket zijn geen lokale gegevens bekend. Daarnaast kunnen aanwezige watergangen (sloten, kanaal, plassen), welke op peil worden gehouden, invloed hebben op de effecten. Een lokale capaciteitsproef moet daarom de noodzakelijke infiltratiedruk en het bijbehorende debiet bevestigen. Door tegelijkertijd in de omgeving de grondwaterstand te meten (pompproef) kan worden bepaald of de infiltratie de freatische grondwaterstand niet te sterk beïnvloedt. Veranderingen van de grondwaterstand zullen kleiner zijn dan de verandering van de stijghoogte, maar kunnen alleen met behulp van meer lokale informatie worden berekend. Aannemelijk is dat de grondwaterstanden in de nabije omgeving van het infiltratiepunt zullen stijgen. Het is van belang om dit nader te kwantificeren met een veldproef, zodat afgewogen wordt of deze veranderingen toelaatbaar kunnen worden geacht, rekening houdend met streefniveaus voor het grondwater en gebruik van bijv. kelders in de omgeving.

### 6.2.2 Onttrekking

Drie scenario's zijn uitgewerkt om de hydrologische effecten van onttrekking te bepalen:

- Gemiddeld beoogde debiet van 4 m<sup>3</sup>/uur;
- Maximaal beoogde debiet van 8 m<sup>3</sup>/uur;
- Maximaal mogelijke debiet m.b.t. zandlevering.

Het laatstgenoemde scenario heeft een nadere toelichting. De maximale capaciteit van een onttrekkingsbron in het eerste watervoerend pakket kan worden berekend met de maximale toegestane snelheid op de boorgatwand, welke bepalend is voor het voorkomen van zandlevering en welke volgt uit de formule van Huisman (0,5\*Sichardt):

$$v = \sqrt{\frac{K}{30}}$$

Dit komt neer op 2,9 m/uur, wat met een boorgatdiameter van 400 mm en een filterlengte van 38 meter neerkomt op een maximale capaciteit van ca. 138 m<sup>3</sup>/uur. Omdat dit de beoogde terugwincapaciteit (8 m<sup>3</sup>/uur) ver overschrijdt, is het risico op zandlevering niet beperkend bij de toepassing van ASR.

In Tabel 6-2 zijn voor de verschillende scenario's de resultaten uitgewerkt. Het maximaal mogelijke onttrekkingsdebiet met één put kan in het volledige eerste watervoerend pakket oplopen tot ca. 138 m<sup>3</sup>/uur, uitgaande van de fysische mogelijkheden. Dit is een aanzienlijk debiet en zal leiden tot grote

stijghoogteveranderingen in de omgeving, met een invloedgebied (gebied waarbij een stijghoogtedaling van > 5 cm kan worden waargenomen) van ca. 3600 meter. Dit is een aanzienlijk groot gebied en kan nabij de put in stedelijk gebied wellicht voor zettingsproblemen zorgen.

Het debiet van 138 m<sup>3</sup>/uur zal niet benodigd zijn voor de waterbalans die geldt voor het project en het voorbeeld laat slechts zien dat zandlevering geen risico zal zijn voor de beoogde debieten. De beoogde gemiddelde en maximale onttrekkingsdebieten van 4 en 8 m<sup>3</sup>/uur zullen tot verwaarloosbare invloedgebieden leiden.

Tabel 6-2. Hydrologische effecten van onttrekking volgens de drie verschillende scenario's.

	Gemiddeld beoogd debiet (4 m <sup>3</sup> /uur)	Maximaal beoogd debiet (8 m <sup>3</sup> /uur)	Maximaal mogelijk debiet (138 m <sup>3</sup> /uur)
Verlaging stijghoogte bij bron	0,08 m	0,15 m	2,61 m
Min stijghoogte nabij bron	1,33 m-mv	1,40 m-mv	3,86 m-mv
Invloedsgebied (5 cm)	5 m	100 m	3600 m
Invloedsgebied (10 cm)	0 m	5 m	2500 m

### 6.3 Ruimtebeslag

Ruimtebeslag aan maaiveld is nihil bij een ondergrondse waterberging, wat gunstig is in stedelijk gebied. De aanstuuringsruimte van de ondergrondse waterberging kan volledig ondergronds afgewerkt worden. In Spangen zijn bijvoorbeeld slechts enkele putdeksels zichtbaar aan maaiveld. Deze moeten groot genoeg zijn voor makkelijkere toegang in het geval van onderhoud of een calamiteit (630-700 mm is gangbaar voor een putdeksel; een luik van 900x900 mm is gerealiseerd bij Spangen). Een voordrukbus zal waarschijnlijk aanvankelijk niet nodig zijn om onder vrij verval te kunnen infiltreren, maar mogelijk op langere termijn wel. Dit is het enige element van de berging dat aan maaiveld zichtbaar is (ca. 1x1x2 meter; lxbxh). Het uiterlijk hiervan kan naar wens worden vormgegeven conform de architectuur van de wijk. Daarnaast is het natuurlijk van belang dat de ondergrondse installatie van het ASR-systeem niet conflicteert met bestaande ondergrondse infrastructuur, zoals kabels en leidingen.

### 6.4 Monitoring

Enkele monitoringsvoorzieningen zijn gewenst om de prestatie van de ondergrondse waterberging te meten:

- Debietsensoren (2x per bron: op infiltratieleiding én onttrekkingsleiding);
- Druksensor (2x per bron: op bronplaat of in bronfilter en in een peilbuis in de omstorting);
- Niveausensor (1x in voordrukbus);
- EC-sensor (2x per bron: op infiltratieleiding én onttrekkingsleiding);
- Tappunt voor monsternamen (2x per bron: op infiltratieleiding én onttrekkingsleiding);
- Extra waarnemingsputten met peilbuizen (met druksensoren en evt. met overige sensoren) op afstand van de bron.

### 6.5 Overige ontwerpisen

Naast bovenstaande randvoorwaarden, zijn er nog een aantal ontwerpisen waar men rekening mee moet houden:

- Putverstopping zal altijd in enige vorm plaatsvinden. Hoe schoner het water is en hoe beter het voldoet aan de kwaliteitsrichtlijnen, hoe minder snel putverstopping plaats zal vinden. Naast controle op de

kwaliteit van infiltratiewater, kan het putfilter op regelmatige basis (bijvoorbeeld eens per dag of eens per  $X \text{ m}^3$  aan infiltratie) voor enkele minuten worden teruggespoeld om de opgebouwde verstopping te verhelpen voordat het voor een te grote afname van de infiltratiecapaciteit heeft gezorgd. Bij het ontwerp moet rekening worden gehouden met het afvoeren van dit spoelwater.

- Realisatie van overstortleiding waar water kan worden geloosd in het geval van calamiteiten;
- Voldoende ontluchting (bijvoorbeeld op de bronplaat van de infiltratieput);
- Leidingen moeten worden voorzien van afsluiters;
- Bij voorkeur is de bronplaat gesitueerd direct onder het luik/putdeksel, zodat hier ook meetapparatuur van bovenaf in kan worden geleid, maar bij voorkeur niet precies in het midden omdat dit de fysieke toegang juist bemoeilijkt. De regelkamer onder het deksel moet goed geventileerd zijn, en elektrische componenten moeten niet in aanraking kunnen komen met water (mogelijk is een dompelpomp nodig voor afvoer van grondwater dat via de wanden kan intreden).

## 6.6 Waterkwaliteitsaspecten

Concentraties **Fe**, **NH<sub>4</sub>**, **Mn**, en **As** zijn relatief hoog in lokaal grondwater in het eerste watervoerend pakket. Bij terugwinning zal **menging** van infiltratiewater met lokaal grondwater kunnen plaatsvinden hetgeen een aandachtspunt is bij het gebruik van het water.

Bij infiltratie van voorgezuiverd hemelwater en/of grijs water, wat rijk is aan zuurstof (**O<sub>2</sub>**) en tevens nitraat (**NO<sub>3</sub>**) kan bevatten, zal de redoxchemie van het ijzerrijke en anaerobe (zuurstofloze) grondwater worden beïnvloed. **Fe** (en **Mn**) zal neerslaan in de ondergrond op zanddeeltjes nabij de infiltratieput. **Fe**, **PO<sub>4</sub>** en **As** hechten vervolgens erg goed aan deze ijzerneerslagen, waardoor een afname van de concentraties van deze stoffen kan worden verwacht. Dit kan positief uitpakken wanneer met dezelfde put weer water wordt onttrokken. Opgelost Fe, PO<sub>4</sub> en As dat tijdens terugwinning vanuit het watervoerend pakket langs het neergeslagen ijzer stroomt, zal hieraan hechten, zodat het teruggewonnen water relatief arm is in deze ionen. Dit proces wordt ook wel **ondergrondse ontijzering** genoemd. Uit ervaringen met ondergrondse ontijzering is bekend dat dit niet tot verstopping van de infiltratiebron leidt.

**Nitrificatie** (omzetting van **NH<sub>4</sub>** naar **NO<sub>3</sub>**) zal na de voorzuivering en infiltratie continueren in het watervoerend pakket. Daarnaast zal **denitrificatie** (omzetting van **NO<sub>3</sub>** naar **N<sub>2</sub>**) plaatsvinden in het watervoerend pakket zodra het opgelost zuurstof in het infiltratiewater is geconsumeerd voor oxidatie van Fe, organische stof en pyriet, en NO<sub>3</sub> als nieuwe oxidator gebruikt zal worden. Dit verklaart tevens de lage concentraties NO<sub>3</sub> in het lokale grondwater. Nitrificatie en denitrificatie zorgen dus voor consumptie van NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub> en omzetting tot (vluchtig) N<sub>2</sub>, waardoor water dat met dezelfde put weer wordt onttrokken relatief arm is in NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub>.

Het inbrengen van infiltratiewater dat rijk is aan zuurstof (**O<sub>2</sub>**) en tevens nitraat (**NO<sub>3</sub>**) brengt echter ook risico's met zich mee. Zo kunnen pyrietmineralen in de bodem oxideren, waarbij **Fe**, **SO<sub>4</sub>** (relatief onschadelijk) en zware metalen als **As**, **Ni** en **Co** vrij kunnen komen. De mate waarmee dit plaatsvindt is afhankelijk van de aanwezigheid van pyriet in het watervoerende pakket en de competitie met oxidatie van andere mineralen in de ondergrond. Daarnaast kunnen deze zware metalen ook weer deels worden ingevangen in de ontstane oxideneerslagen. Een korte injectieproef met bijvoorbeeld drinkwater kan worden gebruikt om dit te onderzoeken.

**Bodempassage** van infiltratiewater in een watervoerend pakket zorgt voor desinfectie van het water, waardoor microbiologische indicatoren in concentratie zullen afnemen. Voorwaarde hiervoor is wel dat de bodempassage en verblijftijd in de ondergrond voldoende lang is. Wanneer water met een relatief hoge concentratie microbiologische indicatoren (bijv. E. Coli) wordt geïnfilteerd en er vervolgens een vraag is naar water uit de ondergrondse waterberging en met dezelfde put water wordt teruggewonnen, zal het meest recentelijk

geïnfiltreerde water als eerst worden onttrokken. De ondergrondse verblijftijd van dit water kan daardoor zeer kort zijn, en de bodempassage beperkt, waardoor de microbiologische indicatoren niet afdoende zijn verwijderd. Dit brengt risico's met zich mee wanneer het teruggewonnen water wordt hergebruikt en mensen ermee in aanraking kunnen komen in de openbare ruimte. Hiermee kan omgegaan worden door:

- een desinfectiestap, zoals een UV-lamp, toe te voegen aan de nazuivering;
- het systeem zo in te regelen dat er een tijd niet mag worden onttrokken na een periode van infiltratie. Dit is echter lastig als er een continu wateraanbod voor infiltratie is in de vorm van grijs water. In vervolgonderzoek dient nader te worden uitgezocht hoeveel tijd dit moet zijn.
- een ASTR (aquifer storage, transfer and recovery) systeem te ontwikkelen: zie sectie 6.8.

## 6.7 Terugwinning en nazuivering

### 6.7.1 Aandachtsparameters

De volgende parameters verdienen bij nazuivering van teruggewonnen water in stedelijk gebied in ieder geval aandacht:

- Ammonium (NH<sub>4</sub>)
- IJzer (Fe)
- Mangaan (Mn)
- Arseen (As) en mogelijk andere pyriet-gebonden zware metalen (zoals nikkel (Ni) en cobalt (Co))
- Antropogene stoffen (PAK's, BTEX, bestrijdingsmiddelen, medicijnresten, verzorgingsproducten)
- Pathogenen (Microbiologische indicatoren zoals E. Coli)

**NH<sub>4</sub>, Fe, Mn en As** hebben hoge concentraties in het grondwater van het eerste watervoerende pakket ten opzichte van de normen die zijn opgenomen in het Drinkwaterbesluit (2018). De kans op menging met lokaal grondwater is aannemelijk, waardoor dit bij hergebruik van teruggewonnen water belangrijke aandachtsparameters zijn. Fe, Mn en As zullen bij infiltratie van zuurstofrijk water al wel voor een groot deel achterblijven in het watervoerend pakket door ondergrondse ontijzering. Het teruggewonnen water kan wel anaeroob zijn, en NH<sub>4</sub> blijft een lastige parameter om te zuiveren.

Doordat zuurstofrijk water is geïnfiltreerd in de ondergrond, kan oxidatie van pyriet plaatsvinden. Dit kan resulteren in verhoogde concentraties van **zware metalen** als Ni en Co in het teruggewonnen water.

**Antropogene stoffen** mogen niet (of nauwelijks) naar de ondergrond worden geïnfiltreerd volgens de eisen van het infiltratiebesluit en de KRW, waardoor deze bij de voorzuivering al moeten worden afgevangen. Antropogene stoffen als PAK's en BTEX en bestrijdingsmiddelen kunnen echter wel voorkomen in het lokale grondwater door langjarige natuurlijke infiltratie vanaf maaiveld. Monitoring op deze parameters zal daarom zeker moeten plaatsvinden.

Wanneer **pathogenen** de voorzuivering passeren en naar de ondergrond worden geïnfiltreerd, zullen deze enkel bij voldoende bodempassage worden afgebroken. Bij het definitieve ontwerp zal moeten worden uitgezocht hoeveel tijd nodig is bij welke mate van verontreiniging.

### 6.7.2 Beoogd ontwerp voor laagwaardige toepassing (stedelijk groen)

Beluchting van het teruggewonnen water kan voor een significante kwaliteitsverbetering zorgen, doordat het water aeroob wordt en Fe, Mn en As, die in het teruggewonnen water aanwezig kunnen zijn, zullen neerslaan.

Een filtratiestap is de logische volgende stap om de eventueel neergeslagen Fe, Mn en As af te vangen, en tegelijkertijd ook als barrière te fungeren voor zware metalen als Ni en Co. Dit zou voor irrigatiedoeleinden met een zandfiltratie kunnen worden gedaan.

De verwachting is dat pathogenen en antropogene stoffen dit stadium ook voldoende zijn verwijderd voor laagwaardige toepassing. Indien de concentratie van microbiologische indicatoren (zoals E. Coli) nog te hoog is, en het risico op besmetting door contact aannemelijk, kan overwogen worden om een aanvullende desinfectiestap (zoals een UV-lamp) toe te voegen, afhankelijk van het gekozen irrigatiesysteem (boven- of ondergronds).

### 6.7.3 Aanvullend ontwerp voor hoogwaardigere toepassing (douchewater)

In aanvulling op bovenstaand zullen pathogenen en antropogene stoffen voor een hoogwaardige toepassing van het teruggewonnen water een niveau zoals vastgesteld in het drinkwaterbesluit moeten worden gereduceerd. In dit geval lijkt UF-RO (ultrafiltratie – omgekeerde osmose) in combinatie met UV desinfectie, of iets vergelijkbaars de meest logische zuiveringsstap. Het punt hierbij is wel dat de operationele kosten daarvoor extreem omhooggaan omdat er frequente monsternamen en analyse van de waterkwaliteit moet plaatsvinden ter verificatie van de zuivering.

## 6.8 Kosten en baten

Om een globaal overzicht te schetsen van de kosten en baten, is de Urban Waterbuffer in Spangen als voorbeeld genomen. Dit systeem is geplaatst in het eerste watervoerend pakket onder de deklaag. Bij toepassing van ASR in een dieper pakket, zullen boor- en onderhoudskosten hoger uitpakken, maar dit valt te overzien t.o.v. de totale kosten van de ondergrondse waterberging.

### 6.8.1 CAPEX

De CAPEX (*capital expenditures* = investeringskosten) voor de Urban Waterbuffer in Spangen zijn gegeven in Tabel 6-3. De opvangbuffer ('kratjesbuffer') is de component die in Spangen het zwaarst woog in de totale investeringskosten (ca. 70% van totaal). In dit rapport wordt ervan uitgegaan dat deze tijdelijke berging sowieso wordt gerealiseerd en losstaat van de ondergrondse waterberging. Indien de wijk hoofdzakelijk wordt afgekoppeld met groene daken, en de tijdelijke retentie daar plaatsvindt, is er minder aanvullende en decentrale retentiecapaciteit benodigd. Daarnaast kan ook gekozen worden voor wadi's, regentuinen of vijvers als alternatieve retentiebuffers, wat de kosten kan drukken t.o.v. een ondergrondse krattenbuffer. Bovendien lijkt een krattenbuffer ook goedkoper gerealiseerd te kunnen worden. Een slim ontwerp van het gehele watersysteem is in ieder geval vereist, waarbij alle componenten zo goed mogelijk worden ingepast.<sup>4</sup>

Op basis van de informatie in

Tabel 6-3 kan men grofweg uitgaan van ca. **€ 250.000 - € 300.000 aan investeringskosten** voor het realiseren van een ASR-bron en een voorzuivering voor afstromend hemelwater. Dit is exclusief de kosten voor een eventuele nazuivering.

Tabel 6-3: Overzicht van daadwerkelijke investeringskosten (CAPEX) van de Urban Waterbuffer in Spangen ([http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/04/Field-Factors-Economische-impact-Urban-Waterbuffer-Dart-e-Kok-\(2020\).pdf](http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/04/Field-Factors-Economische-impact-Urban-Waterbuffer-Dart-e-Kok-(2020).pdf)).

Categorie	Kosten	Toelichting
Design & Engineering	€ 55.000	
Stap 1: Vasthouden	€ 800.000	Inkoop & constructie van de kratjesbuffer.
Stap 2: Zuiveren	€ 65.000	Inkoop en installatie van de voorzuivering, inclusief zitelementen.
Stap 3: Opslaan	€ 155.000	Bronnen en watertechnische installaties voor opslag en terugwinning.
Stap 4: Onttrekken	€ 16.000	Watertappunt op het plein.
Bouwwerkzaamheden	€ 48.000	Grondverzet etc.
Overig	€ 16.000	O&M + Exploitation plan

<sup>4</sup> [http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/04/Field-Factors-Economische-impact-Urban-Waterbuffer-Dart-e-Kok-\(2020\).pdf](http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/04/Field-Factors-Economische-impact-Urban-Waterbuffer-Dart-e-Kok-(2020).pdf)

	€ 6.000	Vergunningen en contracten
<b>Totaal</b>	<b>€ 1.161.000</b>	

### 6.8.2 OPEX

Naast de initiële investeringskosten voor de aanleg van de Urban Waterbuffer, zijn er ook terugkerende kosten, ofwel OPEX (*operational expenditures* = operationele kosten), zoals de kosten voor elektriciteit, onderhoud, en monstername. Deze zijn gegeven in Tabel 6-4 en Tabel 6-5. Op basis van deze informatie, kan men grofweg uitgaan van ca. € 400.000 aan totale OPEX die gemoeid zijn met zuivering en ondergrondse berging (en terugwinning) over de gehele levensduur van de installatie. De aangenomen levensduur van de gehele Urban Waterbuffer in Spangen bedraagt ca. 40 jaar, waarbij de ASR-bron een verwachte levensduur van 50 jaar heeft. **De OPEX komt daarmee uit op ca. € 10.000 per jaar**, exclusief kosten voor een eventuele nazuivering en monitoring.

Tabel 6-4: Overzicht van operationele kosten (OPEX) van de Urban Waterbuffer in Spangen<sup>5</sup>.

Categorie	Kosten	Eenheid	Aantal	Kosten (40 jaar)	Toelichting
Stap 1: Vasthouden	1.000	€/jaar	40	40.000	Schoonspoelen kratjesbuffer
Stap 2: Zuiveren	500	€/ronde	160	80.000	Analyses van kwaliteit instromend hemelwater
	900	€/jaar	40	36.000	Groenbeheer
Stap 3: Opslaan	1.500	€/jaar	40	60.000	Onderhoud installaties
Stap 4: Onttrekken	500	€/ronde	160	80.000	Monstername na onttrekking voor veilig hergebruik
Overig	1.100	€/5000kWh	40	44.000	Electra en netwerk
	250	€/jaar	40	10.000	Zuil
	250	40x	40	10.000	Vergunning
<b>Totaal over 40 jaar</b>				<b>€ 360.000</b>	

Tabel 6-5: Overzicht van kosten die gemoeid zijn met grootschalig onderhoud aan het systeem over de totale levensduur van 40 jaar<sup>6</sup>.

Categorie	Kosten	Eenheid	Aantal	Kosten (40 jaar)	Toelichting
Stap 1: Vasthouden	200	€/ton	50	€ 10.000	Verwijdering plastic uit kratjesbuffer
Stap 2: Zuiveren	1.00	€/toplaag	5	€ 5.000	Vervanging van toplaag filtermedia
	15	€/m <sup>2</sup>	450	€ 6.750	Groenbeheer
Stap 3: Opslaan	55.000	€/bron	1	€ 55.000	Regenereren van de bron

<sup>5</sup> [http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/04/Field-Factors-Economische-impact-Urban-Waterbuffer-Dart-e-Kok-\(2020\).pdf](http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/04/Field-Factors-Economische-impact-Urban-Waterbuffer-Dart-e-Kok-(2020).pdf).

<sup>6</sup> [http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/04/Field-Factors-Economische-impact-Urban-Waterbuffer-Dart-e-Kok-\(2020\).pdf](http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/04/Field-Factors-Economische-impact-Urban-Waterbuffer-Dart-e-Kok-(2020).pdf).



Stap 4: Onttrekken					
Overig	540	€/element	10	€ 5.400	Elektra
<b>Totaal over 40 jaar</b>				<b>€ 82.150</b>	

### 6.8.3 Baten

Een ondergrondse waterberging levert ook enkele baten op. Allereerst zorgt het natuurlijk voor de beschikbaarheid en levering van water in tijden van watervraag. Daarnaast heeft een ondergrondse waterberging ook een meerwaarde bij het voorkomen van wateroverlast en het verlagen van de druk op de centrale riool(waterzuiverings)systemen. Wanneer de voorzuivering wordt benut als stedelijk groen, draagt deze ook bij aan het verbeteren van de ruimtelijke kwaliteit van de wijk. Daarnaast kan een ondergrondse waterberging extra baten bieden omdat relatief weinig van de stedelijke ruimte nodig is voor watercompenserende maatregelen. Bij het afzetten van deze baten tegen de totale kosten, kwam de kostprijs per m<sup>3</sup> in Spangen neer op ca. € 0,36, waarbij de retentiebuffer niet is meegenomen in de beschouwing. Op basis van deze analyse in Spangen, kan een Urban Waterbuffer dus een voordelig alternatief bieden voor de levering van drinkwater (ca. € 0,91 per m<sup>3</sup>). Voor laagwaardige watertoepassingen als irrigatie van stedelijk groen wordt doorgaans water uit een kanaal of sloot genomen, waardoor een Urban Waterbuffer qua kosten relatief minder gunstig uit zal pakken.

Hoewel de UWB investering bij Spangen op basis van directe geldstromen (nog) niet in de zwarte cijfers komt, heeft het een unieke mogelijkheid geboden om richting een positieve ROI op investeringen in stedelijke waterinfrastructuur te werken, wat ter vergelijking bij investeringen in het vergroten van het centrale rioolstelsel onmogelijk is. De ervaringen in Spangen bieden tevens handvatten om de business case van nieuwe Urban Waterbuffers te verbeteren.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> [http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/04/Field-Factors-Economische-impact-Urban-Waterbuffer-Dart-e-Kok-\(2020\).pdf](http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/04/Field-Factors-Economische-impact-Urban-Waterbuffer-Dart-e-Kok-(2020).pdf)

## 6.9 Alternatieven

### 6.9.1 Twee ASR-putten (eventueel te benutten als ASTR)

Bij veel ASR-toepassingen, zoals in Spangen, kan worden volstaan met één ASR-put die is geplaatst over de gehele dikte van het watervoerend pakket. Deze toepassing geeft een grote capaciteit zonder de fysische beperkingen te benaderen (opbarsting en zandlevering), en geeft voordelen wat betreft de waterkwaliteit (bijv. ondergrondse ontijzering). Bodempassage zorgt tevens voor desinfectie, maar als slechts één ASR-put wordt gebruikt, en bodempassage beperkt kan zijn, kan een nazuivering benodigd zijn die microbiologische indicatoren voldoende verwijdert. Een ander nadeel van één enkele ASR-put waarmee zowel geïnfiltreerd als onttrokken wordt, is dat het systeem bij onderhoud of een calamiteit volledig stilstaat. Dit maakt de bedrijfsvoering minder robuust, en de kans op overstort is daardoor groter. Bovendien is er continu een aanbod aan grijs water, waardoor men direct bergingscapaciteit misloopt in het geval van onderhoud of een calamiteit.

Een alternatief is daarom om twee ASR-putten te realiseren, die beide kunnen worden gebruikt voor zowel infiltratie als onttrekking. De voordelen hiervan zijn als volgt:

- In geval van onderhoud of calamiteit aan één put, kan de tweede put altijd worden blijven gebruikt. Dit is zeer gewenst bij een continu wateraanbod (grijs water).
- Tijdens infiltratie kan men afwisselen tussen twee putten. Men kan bijvoorbeeld iedere week wisselen van infiltratieput, waardoor de verblijftijd, de mate van bodempassage, en de mate van natuurlijke afbraak van microbiologische indicatoren, toenemen. Bij een watervraag heeft men de keuze om de meest geschikte bron te kiezen voor terugwinning.
- Ondergrondse ontijzering blijft mogelijk.
- Verspreiding van hydrologische effecten.
- Nóg meer infiltratie- en terugwincapaciteit.
- Ook te benutten als **ASTR** (aquifer storage, transfer and recovery), een variant op ASR waarbij twee putten op enige afstand van elkaar worden gebruikt: één voor infiltratie en één voor onttrekking (benedenstrooms t.o.v. de infiltratiebron en de geringe grondwaterstroming). Deze variant wordt doorgaans toegepast op locaties waar een lokale stijghoogtegradiënt bestaat (laterale grondwaterstroming). Het geïnfiltreerde water kan zodoende afdrijven naar de onttrekkingsput, waar het vervolgens onttrokken kan worden. Hierbij is de verblijftijd, de mate van bodempassage, en de mate van natuurlijke afbraak van microbiologische indicatoren maximaal.
  - o Als de grondwaterstroming significanter blijkt dan verwacht, door bijvoorbeeld interferentie met omliggende open bodemenergiesystemen, is deze optie het overwegen waard. Het met de onttrekkingsput 'mikken' op de infiltratiebubbel kan echter lastig zijn in de praktijk, omdat de door de open bodemenergiesystemen geïnduceerde grondwaterstroming kan verschillen per seizoen.
  - o In het geval grondwaterstroming daadwerkelijk beperkt is, wordt met ASTR een relatief groter deel aan lokaal grondwater teruggewonnen i.p.v. het opgeslagen infiltratiewater. Wanneer de afstand tussen de twee benodigde putten beperkt blijft (max. 10 meter), zal dit echter beperkt zijn, helemaal gezien de overinfiltratie die plaatsvindt met de huidige waterbalans. Bovendien kan de kwaliteit van het lokale grondwater, na een nazuiveringsstap, alsnog geschikt zijn om te benutten.

Naast bovengenoemde mogelijke voordelen, zijn er ook nadelen:

- Ca. dubbele kosten t.o.v. 1 ASR-put. Wanneer twee putten gerealiseerd worden zullen de materiaalkosten verdubbelen, maar zullen aanrijkosten etc. niet nogmaals verrekend worden. Het is dus een maximale schatting om met dubbele kosten te rekenen bij twee putten t.o.v. één enkele put.
- Meer kans op menging van lokaal grondwater, hoewel beperkt gezien de waterbalans.
- De ruimte voor het realiseren van twee putten moet er wel zijn. Ruimtebeslag aan maaiveld is nihil door ondergrondse afwerking, maar er is wel meer kans op conflicten met bestaande ondergrondse infrastructuur.

#### 6.9.2 *Benut het tweede watervoerend pakket*

In plaats van een AS(T)R-systeem te realiseren in het eerste watervoerend pakket, kan men er ook voor kiezen om dieper te boren naar het tweede watervoerend pakket.

Voordelen:

- Geen interfererende open bodemenergiesystemen;
- Geen of slechts zeer beperkte uitstraling van hydrologisch effect naar maaiveld, waardoor hogere capaciteiten en debieten zouden kunnen worden geleverd.
- In dit pakket is ook zoet grondwater aanwezig, want de winningen van Vitens en Waternet zijn hierin gevestigd.

Nadelen:

- Er is minder informatie beschikbaar over dit diepere pakket.
- Dit is hetzelfde pakket als drinkwaterwinningen die op afstand van City Nieuwegein liggen.
- Hogere boorkosten, want dieper.

## 7 Conclusies en aanbevelingen

De ondergrond ter plaatse van de beoogde projectlocatie is, door de aanwezigheid van goed doorlatende watervoerende pakketten tussen slecht doorlatende kleilagen, geschikt voor ondergrondse waterberging. Overtollig hemelwater en/of grijs water kan na een voorzuivering met een relatief hoog debiet geïnfilteerd worden naar een van de watervoerend pakketten. Het eerste watervoerend pakket (ca. 7 – 45 m-mv) geniet hierbij de voorkeur in verband met de verwachte kosten en de benodigde capaciteit. In dit pakket bevinden zich echter ook andere grondwatergebruikers, waarvan nabijgelegen open bodemenergiesystemen (met relatief grote invloedgebieden) cruciaal zijn in verband met mogelijke interferentie. Dit dient nader uitgezocht te worden met bijvoorbeeld modellering.

De grondwaterkwaliteit in het eerste watervoerend pakket is uitermate geschikt voor toepassing van conventionele ASR met één enkele put over de gehele dikte van het eerste watervoerend pakket. Bovendien is het beoogde infiltratiedebiet groter dan de beoogde terugwinning, waardoor bijmenging van lokaal grondwater tijdens opslag beperkt zal zijn.

Verzameld hemelwater dient vóór infiltratie in ieder geval belucht en gefiltreerd te worden met een natuurlijke zuivering (zoals een helofytenfilter). Grijs water zal daarnaast een aanvullende zuivering moeten ondergaan. De nazuivering (na opslag en terugwinning) wordt bij voorkeur tevens gericht op beluchting en filtratie vóórdát het teruggewonnen water wordt ingezet voor laagwaardige toepassingen. Bij onvoldoende bodempassage en onvoldoende verwijdering van pathogenen, kan de nazuivering ook worden uitgerust met een UV-desinfectie, om de microbiologische veiligheid van teruggewonnen water te garanderen. Bij hoogwaardige toepassingen van het teruggewonnen water (zoals douchewater) kan er beter gekozen worden voor een UF-RO of membraanbioreactoren als nazuivering. Hiermee zullen de kosten echter extreem omhoog gaan, omdat frequente monsternamen en analyse van de waterkwaliteit noodzakelijk is.

Een aannemelijke schatting van de kosten voor één ASR-put inclusief voorzuivering is ca. € 250.000 - € 300.000 aan totale CAPEX en ca. € 10.000 per jaar aan OPEX, met een verwachte levensduur van ca. 40 jaar. De kosten voor de noodzakelijke tijdelijke buffer vóór de voorzuivering zijn hier niet bij inbegrepen omdat er is uitgegaan van voldoende buffering op bijvoorbeeld daken.

Voor een robuuster systeem, of in het geval van een significantere grondwaterstroming dan verwacht, bijvoorbeeld door de invloed van de aanwezige open bodemenergiesystemen, kan het echter gewenst zijn om een tweede ASR-put te realiseren op relatief korte afstand (ca. 10 meter) van de eerste put. De twee putten kunnen zodoende ook bedreven worden als ASTR-systeem. ASTR kan extra zekerheid bieden t.a.v. de microbiologische veiligheid van het teruggewonnen water, maar mogelijk is voor een UV-desinfectie dit doeleinde voordeliger en/of duurzamer. De benodigde verblijftijd hangt o.a. af van het type gebruikte water en beïnvloedt tevens de benodigde afstand tussen de putten.

Daarnaast is het mogelijk om dieper te boren naar het tweede watervoerend pakket, waar interactie met open bodemenergiesystemen niet van toepassing is. Van de grondwaterkwaliteit in dit pakket zijn echter nog relatief weinig gegevens bekend. Bovendien moet met zekerheid kunnen worden gesteld dat boren in dit pakket mogelijk is.

### 7.1 Aanbevelingen

De precieze configuratie van het ASR-systeem voor de ondergrondse waterberging moet verder worden uitgewerkt. Belangrijke afwegingen hierbij zijn het toepassen van één of twee putten, en het gebruik van een vaste onttrekkingsput en infiltratieput (ASTR-systeem).

Voordat het ASR-systeem wordt aangelegd, is het aan te bevelen om een proefboring te doen tot in het tweede watervoerende pakket om de bodemopbouw en grondwaterkwaliteit ter plaatse exact in beeld te brengen. Deze put kan later, als de OWB is gerealiseerd, tevens worden ingericht als waarnemingsput.

Tevens is het aan te bevelen om de grondwaterstroming op de projectlocatie te verifiëren. Dit kan door in drie (bestaande of nieuwe) peilbuizen in driehoeksopstelling gedurende enige tijd (bijvoorbeeld een jaar) de stijghoogte in het beoogde watervoerende pakket handmatig of met loggers te meten. Door de metingen uit de drie peilbuizen te vergelijken, kunnen de stromingsrichting en de stroomsnelheid van het grondwater worden afgeleid. Aanvullend op grondwaterstandsmetingen is het raadzaam om door middel van een modelstudie nader onderzoek te doen naar eventuele interferentie met andere grondwatergebruikers in hetzelfde watervoerende pakket.

Eventuele nazuivering van het water uit de OWB vóór gebruik is in deze voorstudie niet uitgebreid onderzocht. In een vervolgonderzoek is het aan te bevelen de noodzaak en kosten van nazuivering te onderzoeken. Dit hangt onder andere af van de beoogde toepassing van het onttrokken water.

## IV Decentrale sanitatie – concept studie Nieuwegein City West

Deze bijlage beschrijft wat de mogelijkheden zijn voor het toepassen van vacuümtoiletten en een lokale zuivering voor het gebiedsdeel City West te Nieuwegein. De bijlage is de weergave van een rapport opgesteld door projectpartners Desah en is gebaseerd op gegevens die deels zijn verkregen uit studies van Stowa (project Waterschoon) en deels uit eigen onderzoek en ervaring van Desah.



Water saving



Recovery of energy



Recovery of nutrients

Auteur: Dr. Ir. Sybrand Metz, Desah

Datum: 15 Juni 2021

## Samenvatting

Nieuwegein heeft de ambitie om de meest duurzame binnenstad van Nederland te ontwikkelen. Hierbij speelt water een cruciale rol: hergebruik van regenwater voor de groenvoorziening, besparing van drinkwater en duurzame behandeling van afvalwater zijn hierin belangrijke elementen. Dit rapport beschrijft wat de mogelijkheden van vacuümtoiletten, gecombineerd met een decentrale afvalwaterzuivering in het nieuwbouw gedeelte van city West zijn. Dit is onderdeel van het meest duurzame scenario: scenario +++.

De voordelen welke naar voren zijn gekomen uit deze studie van het inzamelen van afvalwater met vacuümtoiletten en decentraal zuiveren zijn:

- 25% besparing op drinkwaterverbruik: voor 800 appartementen komt dit overeen met 16.000 m<sup>3</sup> drinkwater per jaar, vergelijkbaar met het jaarlijkse verbruik van 250 appartementen voorzien van vacuümtoiletten (25%).
- De kosten voor de vacuümtoiletten en vacuümriolering zijn meer dan 50% goedkoper dan wanneer in pandig per appartement grijswater recycling systemen worden toegepast. Deze systemen geven dezelfde waterbesparing.
- Keukenvermalers in combinatie met een vacuümsysteem zijn de meest effectieve methode om in hoogbouw (appartementen) het GFE van het overige afval te scheiden. De hoeveelheid GFE afval die per persoon gemiddeld geproduceerd wordt is 140 g/persoon/dag. Hiervan is 65% goed scheidbaar. Dit geeft per persoon een hoeveelheid van 33 kg die door een keukenvermaler kan worden afgevoerd. Voor 800 appartementen is ongeveer 7 vuilniswagens per jaar.
- GFE wordt in een decentrale zuivering omgezet in biogas.
- Terugwinning van warmte uit gezuiverd afvalwater levert ± 30% van de warmte die nodig is voor een WKO systeem in City-West in Nieuwegein.
- De decentrale zuivering kan water leveren met een zeer hoge kwaliteit (zonder microverontreinigingen) wat lokaal weer kan worden hergebruikt voor diverse doeleinden. Deze waarde is niet meegenomen in de financiële baten.
- Terugwinning van nutriënten is door het toepassen van vacuümtoiletten, die een geconcentreerde afvalwaterstroom leveren, zeer eenvoudig.
- Een decentrale zuivering kan substantieel energie leveren. Dit in tegenstelling tot een centrale rioolwaterzuivering. Een decentrale zuivering kan potentieel 190 kWh<sub>p</sub>/i.e./jaar leveren, terwijl een traditionele rioolwaterzuivering 88 kWh<sub>p</sub>/i.e./jaar kost.
- De winst in verlaging van de CO<sub>2</sub> uitstoot voor een decentrale zuivering in Nieuwegein die hiermee wordt bereikt is vergelijkbaar met de CO<sub>2</sub> opname van meer dan 3700 bomen.
- De indicatieve kosten voor een decentrale zuivering inclusief afschrijving, exploitatie, beheer en onderhoud in Nieuwegein zijn vergelijkbaar met de zuiveringsheffing. In Nederland en in het buitenland (Gent, Hamburg, Helsingborg) zijn er diverse referentieprojecten waarbij wijken en appartementen zijn uitgerust met vacuümtoiletten en waarbij er lokale verwerking van afvalwater plaatsvindt. Deze projecten zijn al jaren operationeel. De wijk Lemmerweg-Oost in Sneek (32 woningen) is al meer dan 15 jaar operationeel met vacuümtoiletten. Daarnaast zijn vacuümtoiletten in cruiseschepen en vliegtuigen de standaard. Daarnaast kunnen duurzaamheidslabels voor de appartementen in Nieuwegein de waarde van het vastgoed doen verhogen.

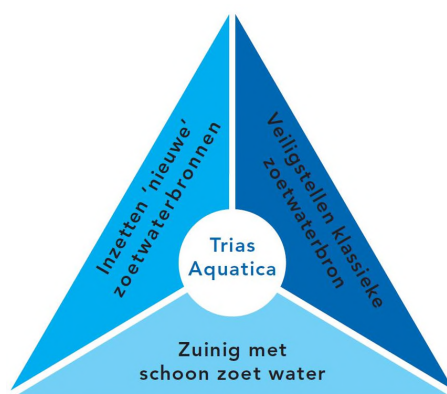
## INHOUD

<b>Samenvatting .....</b>	<b>126</b>
<b>1. Inleiding .....</b>	<b>128</b>
<b>2. Uitgangspunten .....</b>	<b>129</b>
<b>3. Systembeschrijving .....</b>	<b>129</b>
3.1. Scheiden aan de bron .....	129
3.2. Vacuümtoiletten.....	130
3.3. Keukenvermalers.....	130
3.4. Decentrale afvalwaterbehandeling .....	131
3.5. Warmteterugwinning uit gezuiverd afvalwater .....	133
3.6. Ruimtebeslag decentrale zuivering .....	133
<b>4. Kosten/Baten decentrale zuivering Nieuwegein .....</b>	<b>136</b>
4.1. Situatie Nieuwegein city, bouwblok C1-C5 .....	136
4.2. Drinkwater besparing.....	136
4.3. Baten GFT inzameling .....	138
4.4. Warmte levering WKO systeem .....	138
4.5. Struviet vorming.....	138
4.6. Energiesysteem .....	139
4.7. Kosten zuivering .....	140
4.8. Subsidies .....	141
4.9. Disclaimer .....	142
<b>5. Bijlage 1 .....</b>	<b>142</b>
<b>6. Bijlage 2 Antwoorden op vragen concept rapport.....</b>	<b>143</b>



## 1. Inleiding

Dit rapport beschrijft een concept voor decentrale sanitatie voor het TKI project water circulair Nieuwegein. In het rapport van Leaf is dit het scenario “lokaal circulair”. Bij lokaal circulair wordt het afvalwater van woningen decentraal behandeld. Dit is het meest circulaire scenario van afvalwaterzuivering. Dit rapport beschrijft de kosten en baten van dit type decentrale behandeling van afvalwater. Net zoals bij de energietransitie vindt er nu, gedreven door klimaatverandering, een watertransitie plaats. Om duurzaam met water om te gaan kan Trias Aquatica worden gehanteerd:



**Figuur 1:** Trias Aquatica.

De Trias Aquatica bestaat uit de volgende elementen:

- Zuinig omgaan met zoetwater
- Inzetten “nieuwe” zoetwaterbronnen
- Veiligstellen van klassieke zoetwaterbronnen

Het concept lokaal circulair draagt op de volgende manieren bij aan de Trias Aquatica door het zwarte en grijze water aan de bron te scheiden en dit lokaal te behandelen. Dit biedt de volgende mogelijkheden:

Een van de mogelijkheden om water te besparen is door de toepassing van vacuümtoiletten (zuinig omgaan met zoetwater). Deze besparen > 25% van het totale drinkwaterverbruik in een woning<sup>1</sup>. Vacuümtoiletten gebruiken slechts 1 liter water per spoelbeurt, hierdoor is het afvalwater geconcentreerd waardoor effectiever energie en nutriënten uit afvalwater terug kunnen worden gewonnen.

Lokaal afvalwater behandelen biedt ook de mogelijkheid om dit lokaal te hergebruiken zonder de nodige kostbare infrastructuur (inzetten van nieuwe waterbronnen). Volgens de drinkwaterwet<sup>2</sup> mag alleen een drinkwaterbedrijf water aan woningen leveren, maar het gezuiverde afvalwater kan gebruikt worden om het oppervlakte- en grondwater aan te vullen en kan worden gebruikt als irrigatiewater voor de groenvoorziening. Het grijze afvalwater is licht vervuild en kan relatief eenvoudig decentraal worden behandeld waarbij warmte en schoon water kan worden teruggewonnen. De warmte kan worden gebruikt voor een WKO systeem.

<sup>1</sup> <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202018/STOWA%202018-63%20NS%20Noorderhoek.pdf>

<sup>2</sup> <https://wetten.overheid.nl/BWBR0026338/2021-01-01>

Doordat het zwarte water wordt vergist worden hier meer microverontreinigingen (medicijnresten, farmaceutische componenten, microplastics, PFAS, antibiotica resistente bacteriën, virussen) verwijderd dan in een klassieke rwzi. Daarnaast vindt er als laatste stap een nanofiltratie stap plaats waardoor er bijna geen microverontreinigingen meer op het oppervlakte water worden geloosd (veiligstellen zoetwaterbronnen)<sup>3</sup>. De totale volume stroom afvalwater die door nanofiltratie wordt behandeld is lager dan bij een klassieke rioolwaterzuiveringsinstallatie doordat hierbij geen regenwater en afvalwater vanuit de industrie wordt behandeld.

Dit rapport beschrijft wat de mogelijkheden zijn voor het toepassen van vacuümtoiletten en een lokale zuivering voor het gebiedsdeel City West te Nieuwegein. De gegevens hiervoor zijn deels verkregen uit studies van Stowa<sup>4</sup> van het project Waterschoon en eigen onderzoek en ervaring van Desah. In het project Waterschoon in Sneek zijn 230 woningen en appartementen uitgerust met vacuümtoiletten en lokale zuivering van zwart- en grijs water. In het volgende wordt een decentrale afvalwaterzuivering van bron-gescheiden afvalwater nader beschreven, inclusief de kosten en baten.

## 2. Uitgangspunten

Voor het bepalen van een decentrale afvalwaterzuivering wordt vanuit de volgende gebiedsdelen het volgende meegenomen:

Blok B1, 450 appartementen, 810 bewoners

grijswater (64 m<sup>3</sup>/dag) naar decentrale zuivering, zwartwater (33 m<sup>3</sup>/dag) conventioneel toilet afvoer naar riolering.

Blok C1-C5, 800 appartementen, 1440 bewoners

grijswater (114 m<sup>3</sup>/dag), zwartwater ingezameld via vacuümtoiletten en GFE afval via een keukenvermaler (13 m<sup>3</sup>/dag) behandeld in een decentrale zuivering.

Een decentrale zuivering in Nieuwegein behandelt de volgende volume stromen:

Totaal grijswater 178 m<sup>3</sup>/dag

Totaal zwartwater 13 m<sup>3</sup>/dag

## 3. Systeembeschrijving

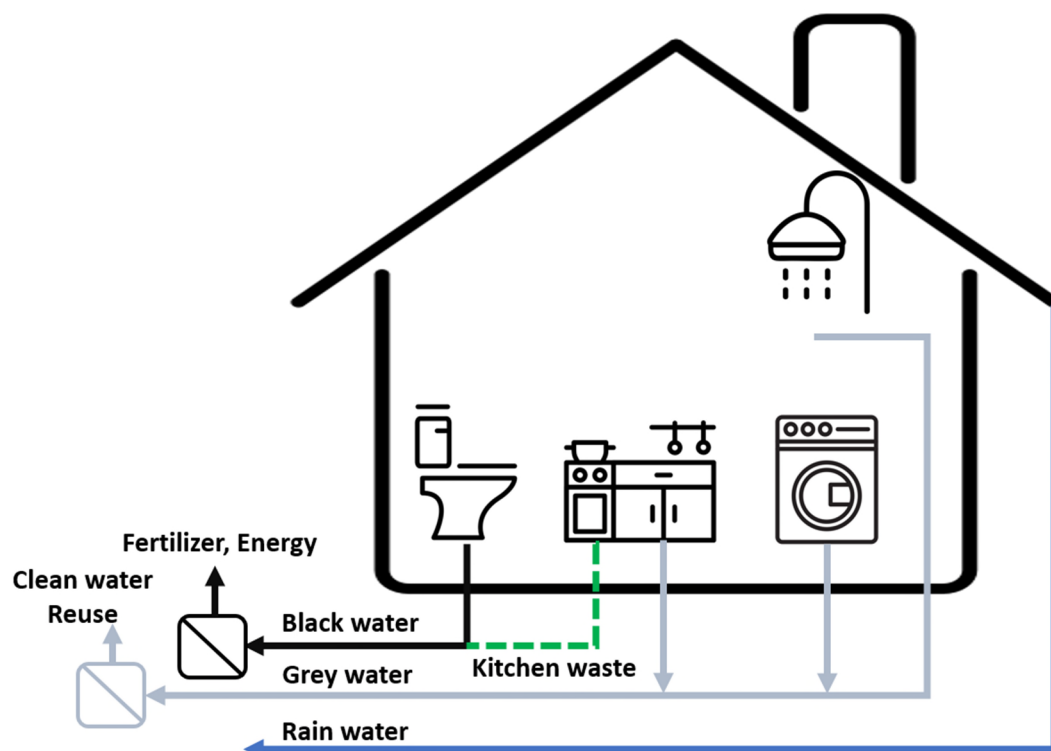
### 3.1. Scheiden aan de bron

Het principe om zo duurzaam mogelijk lokaal afvalwater te behandelen, berust op het scheiden van afvalwaterstromen aan de bron, dit wordt ook wel nieuwe sanitatie genoemd. Het voordeel van het scheiden van de afvalwater stromen is, dat deze daardoor beter behandeld kunnen worden. Het regenwater wordt in Nieuwegein opgevangen en gebruikt voor de groenvoorziening en bij een overschot opgeslagen in een ondergrondse waterbuffer.

<sup>3</sup> <https://nxfiltration.com/products/nano/>

<sup>4</sup> <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202018/STOWA%202018-63%20NS%20Noorderhoek.pdf>





**Figuur 2:** Het principe van het scheiden van afvalwaterstromen aan de bron.

In het principe van scheiden aan de bron wordt het toiletwater (zwart water) ingezameld door middel van vacuümtoiletten. Naast de waterbesparing m.b.v. vacuümtoiletten is het zwarte afvalwater geconcentreerd, waardoor het beter en met minder energie gezuiverd kan worden en meststoffen kunnen worden teruggewonnen. Het grijze afvalwater is licht vervuild en kan eenvoudig worden gezuiverd, warmte onttrokken en eventueel worden hergebruikt.

### 3.2. Vacuümtoiletten

Vacuümtoiletten worden veelvuldig toegepast in vliegtuigen en cruiseschepen en al jaren in woningen en gebouwen. De Lemmerweg-oost in Sneek was het eerste project in Nederland (2005) waar 32 woningen met vacuümtoiletten zijn toegepast. Vacuümtoiletten gebruiken slechts 1 liter water per spoelbeurt en geven hierdoor een water besparing van meer dan 25% of te wel 30 liter/persoon/dag<sup>5</sup>. Bijlage 1 geeft een overzicht van projecten waar vacuümtoiletten zijn toegepast. Een aandachtspunt van vacuümtoiletten was altijd het geluidsniveau. In een recente Stowa rapportage<sup>6</sup> is aangetoond dat de nieuwste versie vacuümtoiletten met de toiletbril dicht, vergelijkbaar of minder geluid maken dan conventionele toiletten. Bij de montage dient er rekening mee gehouden te worden gehouden dat de bevestiging van de transportleiding trillingvrij is, zodat geen contactgeluid kan worden doorgegeven.

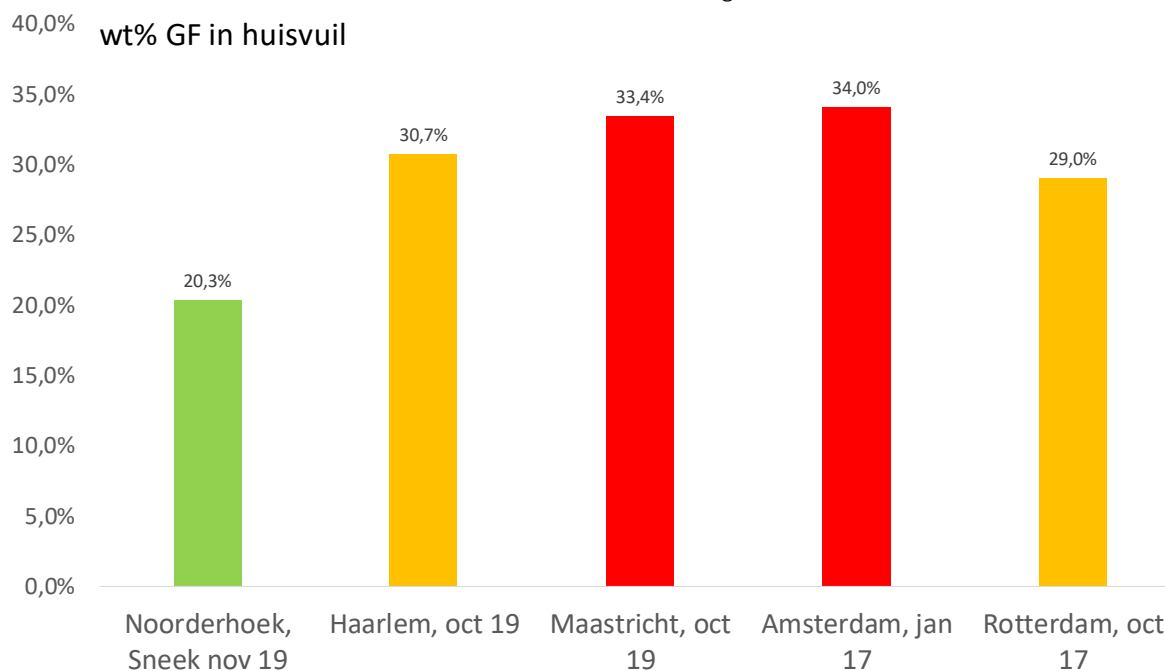
### 3.3. Keukenvermalers

Aan het vacuümsysteem kan ook een keukenvermaler worden toegevoegd die groente,- fruit,- en etensresten (GFE) vanuit de keuken vermaalt. Dit vermaalde GFE-afval wordt afgevoerd met het vacuümsysteem en wordt

<sup>5</sup> <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202018/STOWA%202018-63%20NS%20Noorderhoek.pdf>

<sup>6</sup> <https://www.stowa.nl/publicaties/akoestisch-onderzoek-vacuümtoiletten>

verwerkt in de zuivering en levert een additionele hoeveelheid biogas. Uit proeven in de wijk Noorderhoek in Sneek<sup>7</sup> is gebleken dat een keukenvermaler de beste methode is om GFE afval van het overige afval te scheiden. Het systeem in Sneek scoorde het hoogst op het percentage GFE afval ingezameld t.o.v. andere systemen in Nederland. Dit heeft te maken dat bewoners keukenvermalers als zeer praktisch, comfort verhogend en aangenaam ervaren. De onderstaande figuur geeft de resultaten van veldonderzoek van CREM waste management weer. Hier is onderzocht hoeveel GFE afval zich bevond in het overige huisvuil<sup>8</sup>.



**Figuur 3:** Gewichtspercentage GFE in huisvuil.

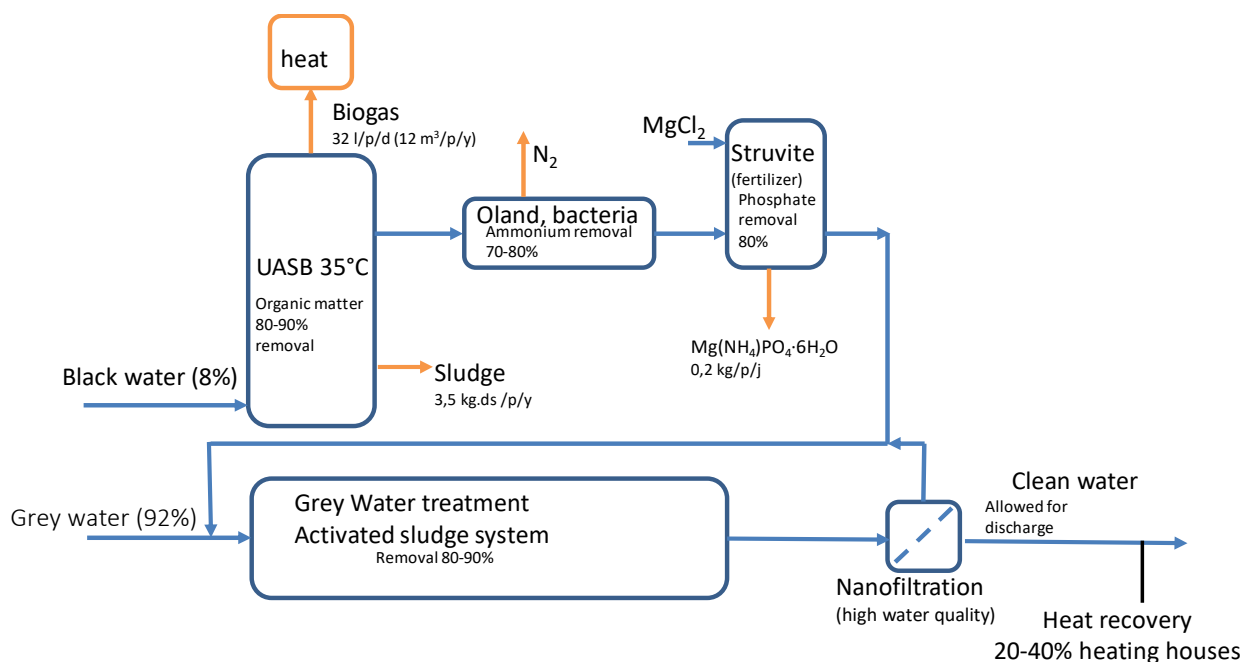
Een van de conclusies van CREM waste management was dat bewoners een keukenvermalers als zeer prettig ervaren en dat bij goede instructie het percentage GFE afval in huisvuil waarschijnlijk nog aanzienlijk te verlagen is. Een dergelijk goede scheiding en inzameling van GFE afval is nog niet met andere systemen behaald.

### 3.4. Decentrale afvalwaterbehandeling

Bij een decentrale afvalwaterbehandelingsinstallatie wordt het zwarte water aangeleverd vanuit een vacuümsysteem en het grijze water wordt aangevoerd middels een vrij vervalriolering. Doordat de afvalwaterstromen van elkaar zijn gescheiden, kunnen ze ook optimaal behandeld worden. Het afvalwater wordt in de wijk behandeld, dit heeft als voordeel dat energie, meststoffen en gezuiverd water weer lokaal kunnen worden hergebruikt zonder dat hiervoor dure infrastructuur (riolering) voor nodig is. De behandeling ziet er als volgt uit:

<sup>7</sup> [www.waterschoon.nl](http://www.waterschoon.nl)

<sup>8</sup> Rapport Ervaringen met de GFE-vermaler in de wijk Noorderhoek (Sneek), CREM wastemanagement



**Figuur 4:** Processchema voor het decentraal behandelen van afvalwater.

Het zwarte water inclusief GFE afval wordt vergist, dit levert energie op in de vorm van biogas. De hoeveelheid biogas die ontstaat is 12 m<sup>3</sup> per persoon per jaar. Biogas kan via een WKK worden omgezet in elektriciteit en warmte of direct worden verbrand. Voor het bouwdeel C1-C5 in Nieuwegein (800 appartement; 1440 inwoners) levert dit ongeveer 45-50 m<sup>3</sup> biogas per dag. In de vergister wordt 80 – 90% van de organische stof in het afvalwater omgezet in biogas. Een bijkomend voordeel van vergisting is dat er 2-3 keer minder slib wordt geproduceerd t.o.v. een conventionele zuivering en dat de slibkwaliteit hoger is en daardoor eventueel zou kunnen worden hergebruikt als grondverbeteraar<sup>9</sup>. Omdat het afvalwater zo geconcentreerd is kan er in een volgende stap efficiënt de ammonium worden verwijderd. Dit wordt gedaan met behulp van een Oland biorotor waarbij met behulp van Anammox bacteriën ammonium wordt verwijderd. Vervolgens kan het fosfaat worden teruggewonnen in de vorm van struvietkorrels. Omdat er in de toekomst een tekort aan fosfaat wordt verwacht is dit een goede methode om deze meststof terug te winnen.

Qua volumepercentage is het zwarte water 8 % en het grijze water 92 %. Het grijze water is licht vervuild en kan vrij eenvoudig worden behandeld. Dit gebeurt in een compact actief slib systeem dat door beluchting de resterende componenten uit het afvalwater verwijdert. Een laatste scheidingsstap is nanofiltratie. Hier worden de meeste alle microverontreinigingen (medicijnresten, microplastics, farmaceutische componenten, bacteriën, antibiotica resistente bacteriën, virussen) in voldoende mate voor lozing op het oppervlaktewater verwijderd. Een nanofiltratie membraan verwijdert medicijnresten beter dan de veel toegepaste technologie van ozonisatie en zandfiltratie<sup>10</sup>. Deze componenten worden in een conventionele zuivering minder goed verwijderd en zijn een bron van vervuiling van het oppervlaktewater. Het gezuiverde water heeft een zeer hoge kwaliteit (zie onderstaande tabel 1) en zou lokaal kunnen worden hergebruikt, bijvoorbeeld voor irrigatie, vacuümtoiletspoeling, vaatwasser en wasmachine.

<sup>9</sup> <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202014/STOWA%202014-38.pdf>

<sup>10</sup> <https://www.stowa.nl/publicaties/holle-vezel-nanofiltratie-voor-verwijdering-van-microverontreinigingen-op-rwz>

Doordat dit type water bijna geen calcium bevat ontstaat er geen kalkaanslag, dit in tegenstelling tot bij gebruik van drinkwater. Echter hergebruik in woningen van gezuiverd afvalwater is vanuit de drinkwaterwet (nog) niet mogelijk<sup>11</sup>.

**Tabel 1:** Waterkwaliteit grijswater zuivering met Nanofiltratie, Sneek Noorderhoek

Parameter	unit	Influent	Effluent without NF	Discharge requirements wastewater	Nanofiltratie (high water quality)
Organic material (COD)	[mg/l]	630	70	125	13
Particles (TSS)	[mg/l]	200	20	-	-
Total Nitrogen (TN)	[mg/l]	26	11	15	4
Ammonium (NH <sub>4</sub> -N)	[mg/l]	12	2	-	0,37
Nitrate (NO <sub>3</sub> -N)	[mg/l]	0,5	0,35	-	0,22
Total Phosphorous (TP)	[mg/l]	9,5	1,2	2	0,34
Bacteria (CFU)	[/#/100 ml]	>1000	>1000	-	0

### 3.5. Warmteterugwinning uit gezuiverd afvalwater

Gezuiverd afvalwater is warm en kan lokaal worden ingezet om een koude bron van een WKO systeem te regenereren, of als bron te dienen voor een warmtepomp die aangesloten is op een lokaal warmtenet. Dit is met Merosch voor de situatie in Nieuwegein verder besproken. Merosch heeft een adviesrapport geschreven voor de duurzame warmtevoorziening in Nieuwegein. Een decentrale zuivering die bijvoorbeeld in gebied C1-C5 is gestationeerd is levert afvalwater met een temperatuur van 20°C. Dit zou een mooie warme bron zijn om de koude bron van het WKO systeem te regenereren, of als directe bron voor de warmtepomp. Qua energie inhoud van het afvalwater zou ongeveer 30% van de koude bron kunnen worden geregenereerd. Warmtevraag van het WKO systeem is 8000 GJ/jaar, potentiële warmtelevering uit afvalwater is 2400 GJ/jaar. De voordelen van afvalwater zijn: Decentrale afvalwaterzuivering ligt dichtbij WKO systeem (beperkt leidingstelsel)

- Eenvoudig om warmte uit afvalwater te halen (warmtewisselaar en pomp)
- Duurzame oplossing, restwarmte afvalwater wordt gebruikt

### 3.6. Ruimtebeslag decentrale zuivering

In Sneek Noorderhoek is sinds 2010 een zuivering operationeel voor 230 woningen voor de behandeling van grijs- en zwartwater. Hieronder is een artist impressie van het zuiveringsgebouw weergegeven. Deze heeft een capaciteit voor circa 500 bewoners (oppervlakte zuivering 12m \* 6m). De ene helft van dit gebouw bevat de zuivering (rechts; 12m \* 6m), de andere helft bevat de energiehuishouding: WKO systeem, biogasbrander en warmtepompen. De totale oppervlakte van een dergelijke zuivering is circa 0,2% van de gebouwde omgeving.

<sup>11</sup> <https://wetten.overheid.nl/BWBR0026338/2021-01-01>



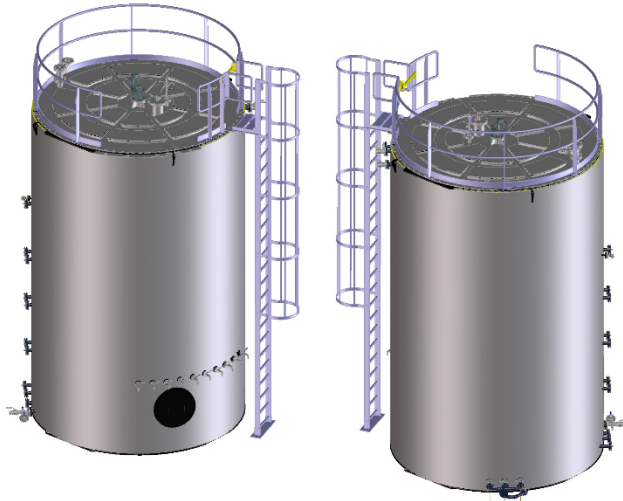
**Figuur 5:** Zuiverings- en energiegebouw van de wijk Noorderhoek Sneek

Een vergister wordt bij voorkeur buiten op gesteld, maar kan ook (deels) in een parkeergarage worden gerealiseerd, zoals voor het ministerie van IenW te Den Haag is toegepast. Dit is weergegeven in figuur 6.



**Figuur 6:** Plaatsing van een vergister in een parkeergarage in Den Haag.

Een vergister zoals die voor Nieuwegein kan worden toegepast heeft een hoogte van 7 meter (inclusief hekwerk) en een diameter van 4 meter. Hieronder is een weergave van de vergister weergegeven



**Figuur 7:** Impressie van een vergister voor- en achterzijde.

De vergister heeft de grootste hoogte van 7 m. Daarnaast heeft de struviet reactor een hoogte van 6 meter. De andere onderdelen zijn lagere dan 5 meter. Het is aan te bevelen om aan de bovenkant extra ruimte te reserveren  $\pm 1,5$  m i.v.m. de toegankelijkheid vanaf de bovenkant.

Een installatie met vergelijkbare capaciteit zoals beoogd voor Nieuwegein heeft een afmeting van ongeveer (l\*b) 17 \* 12,50 m.



## 4. Kosten/Baten decentrale zuivering Nieuwegein

### 4.1. Situatie Nieuwegein city, bouwblok C1-C5

Tabel 2 geeft enkele kentallen weer wanneer vacuümtoiletten en een zuivering zou worden toegepast in Nieuwegein voor de bouwdelen C1-C5. (800 appartementen 1440 bewoners). Hier is biogasproductie en warmteterugwinning uit afvalwater meegenomen:

**Tabel 2:** kentallen voor een decentrale zuivering te Nieuwegein

		Nieuwegein
Appartementen	800	#
Bewoners	1440	#
zwart water	13	m <sup>3</sup> /dag
grijs water B1	64	m <sup>3</sup> /dag
grijs water C1-C5	114	m <sup>3</sup> /dag
biogas productie	45-50	m <sup>3</sup> /dag
Energie uit warmte (20 naar 8 °C)	2400	GJ/jaar
Waterbesparing	16.000	m <sup>3</sup> /jaar
GFE inzameling	47.500	kg/jaar

De hoeveelheid drinkwater bespaard door het toepassen van vacuümtoiletten in 800 appartementen is ongeveer 16.000 m<sup>3</sup> drinkwater per jaar, vergelijkbaar met het jaarlijkse verbruik van 250 appartementen met vacuümtoiletten (25%). Deze getallen zijn gebaseerd op ervaring in Sneek<sup>12</sup> De hoeveelheid GFE afval die per persoon gemiddeld geproduceerd wordt is 140 g/persoon/dag. Hiervan is 65% goed scheidbaar<sup>13</sup>. Dit geeft per persoon een hoeveelheid van 33 kg die door een keukenvermaler kan worden afgevoerd. Voor 800 appartementen is dit  $800 * 1,8 * 33 = 47.500$  kg ongeveer 7 vuilniswagens per jaar.

Qua biogas wordt er ongeveer 17.000 m<sup>3</sup> biogas geproduceerd, deze hoeveelheid zou voldoende kunnen zijn voor alle appartementen om op te kunnen koken.

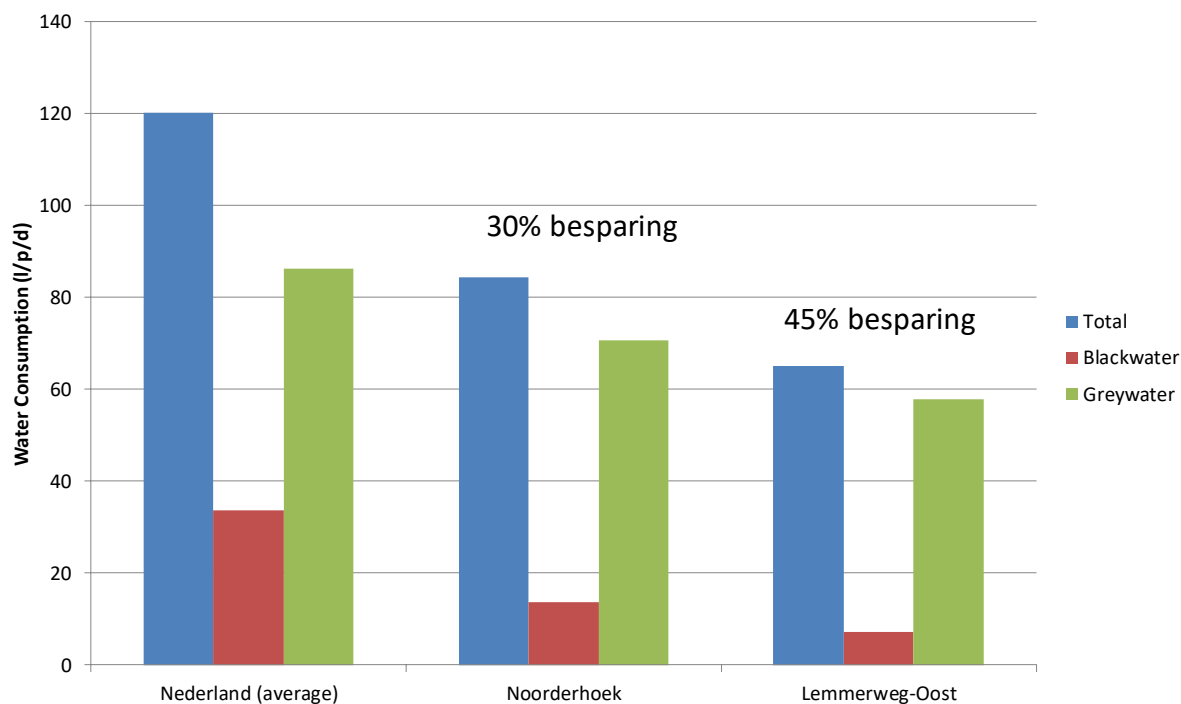
### 4.2. Drinkwater besparing

Vacuümtoiletten gebruiken slechts 1 liter water per spoelbeurt en geven hierdoor een waterbesparing van 30 liter water per persoon per dag, op jaarbasis is dit ongeveer 11.000 liter per persoon, oftewel 25% van het totale drinkwaterverbruik per persoon ((3.2)).

In Sneek is ervaring opgedaan met vacuümtoiletten en keukenvermalers in de projecten aan de Lemmerweg-Oost (2005; 32 woningen) en in Noorderhoek (2010; 230) woningen.

Aan de Lemmerweg-Oost zijn alleen vacuümtoiletten toegepast (45% water besparing) en in Noorderhoek zijn vacuümtoiletten en keukenvermalers toegepast (30% water besparing). Keukenvermalers gebruiken water, wat het hogere drinkwaterverbruik in Noorderhoek t.o.v. de Lemmerweg-Oost verklaart.

<sup>12</sup> <https://www.stowa.nl/publicaties/evaluatie-nieuwe-sanitatie-noorderhoek-waterschoon-2>



**Figuur 8:** Drinkwaterbesparing door de toepassing van vacuümtoiletten in Noorderhoek (230 woningen ) en Lemmerweg-Oost (32 woningen).

Daarnaast motiveerden de vacuümtoiletten bewoners ook om zuiniger om te gaan met water wat de hoge waterbesparing verklaart.

De totale kosten in pandig voor de toepassing van vacuümtoiletten zijn als volgt bepaald:

Meerprijs vacuümtoiletten, per toilet:	€ 400
Meerprijs vacuümleiding in pandig:	€ 250 – € 850 (afhankelijk van de situatie)
Voedselrestenvermaler:	€ 1000
Vacuümriolering en vacuümstation:	
kosten per aansluiting (rapport Leaf) <sup>13</sup> :	€ 950

De meerkosten voor de toepassing van een vacuümtoiletten per appartement zijn dan  $(400 + 250 - 850 + 950) = € 1.600$  tot € 2.200,- per appartement. Dit is veel goedkoper dan een grijswater recyclingsysteem per appartement (welke vergelijkbare waterbesparing levert) waarvoor de kosten voor individuele systemen € 5.000,- - € 10.000,- Euro zijn (inclusief aanpassing leidingen in pandig). Een ander voordeel van het vacuümsysteem is dat het afvalwater niet onder vrij verval moet worden afgevoerd, maar via een dunnere vacuümleiding. Dit biedt meer vrijheden voor het ontwerp van een appartement en de plaatsing van toiletten.

De meerkosten per appartement zijn € 650 - € 1.250 en zijn voor de rekening van de eigenaar/huurder.

De meerkosten voor de gemeente voor het vacuümsysteem zijn € 950 per appartement. Deze kosten zijn vergelijkbaar met de kosten voor het aansluiten van een elektriciteitsaansluiting bij een woning.

Daarnaast zou een duurzaamheidslabel de waarde van appartementen kunnen doen verhogen.

<sup>13</sup> Leaf 20-378 | Quickscan NS City West

### 4.3. Baten GFT inzameling

Het toepassen van GFE keukenvermaler geeft een betere scheiding tussen GFE en ander huishoudelijk afval (zie ook 3.3). Daarnaast ervaren gebruikers keukenvermalers als zeer prettig en comfort verhogend<sup>14</sup>. Door de Stowa<sup>15</sup> is vastgesteld dat het toepassen van een keukenvermaler een besparing geeft op de inzamel- en verwerkingskosten van € 14/persoon/jaar (€ 25 per appartement per jaar). De kosten van een keukenvermaler zijn ongeveer € 1.000,-. Dit wordt veroorzaakt doordat de schakeling met het vacuümsysteem (kleppen + PLC) niet standaard zijn. Een keukenvermaler zonder vacuümsysteem kost € 300 - € 400,-. Het is te verwachten dat deze prijs zal dalen wanneer er meer keukenvermalers worden toegepast. Bij het toepassen van een keukenvermaler dient er rekening mee gehouden te worden om een goede instructies aan bewoners te geven om een maximaal rendement van het systeem te verkrijgen. Keukenvermalers geven wel het beste GFE scheidingsresultaat en dit is niet door andere inzamelingsmethoden haalbaar, vooral niet voor hoogbouw (appartementen).

### 4.4. Warmte levering WKO systeem

Na grijswater behandeling heeft het grijswater gemiddeld een temperatuur van 20°C. Dit is afhankelijk van de transportafstand van het afvalwater door de riolering en het seizoen. Wanneer dit water wordt afgekoeld tot 12°C voor het WKO systeem dan is hier 2.400 GJ/jaar beschikbaar. De warmtevraag voor een WKO systeem is 8.000 GJ/jaar<sup>16</sup>.

Afvalwater zou hiervan 30% van de benodigde hoeveelheid energie van kunnen voorzien. Er zijn 2 andere technieken die (aanvullend) kunnen worden toegepast: droge koelers en PVT-panelen. De Capex en Opex voor een 8.000 GJ/jaar systeem staan in onderstaande tabel 3 weergegeven:

**Tabel 3:** Capex en Opex van droge koelers en PVT panelen

	Capex	Opex
Droge koelers	€ 220.000	€ 14.500
PVT-Panelen	€ 800.000	€ 20.600

PVT-panelen zijn de meest duurzame oplossing en produceren geen geluid, dit in tegenstelling tot droge koelers. Wanneer er voor PVT panelen gekozen wordt in combinatie met warmte uit gezuiverd grijs water dan scheelt dit € 240.000 Capex en een Opex van € 6.200. Wanneer warmte uit gezuiverd grijs water wordt vergeleken met PVT panelen (afschrijving 15 jaar) dan vertegenwoordigt 1 m<sup>3</sup> gezuiverd afvalwater een waarde van € 0,30 /m<sup>3</sup> oftewel € 20.800 per jaar.

### 4.5. Struviet vorming

Bij het decentraal verwerken van afvalwater wordt ook fosfaat verwijderd in de vorm van struviet. Omdat het fosfaatgehalte in het afvalwater door de vacuümtoiletten hoog is kan fosfaat eenvoudig verwijderd worden middels de vorming van struviet door MgCl<sub>2</sub> toevoeging. Struviet is een meststof waarvoor op dit moment de waarde beperkt is ongeveer € 35/100kg<sup>17</sup>. Daarnaast kunnen vanuit struviet duurzame chemicaliën worden

<sup>14</sup> [www.waterschoon.nl](http://www.waterschoon.nl)

<sup>15</sup> <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202014/STOWA%202014-38.pdf>

<sup>16</sup> Merosch. Warmte-koudevoorziening City-West

<sup>17</sup> <https://edepot.wur.nl/382039#:~:text=ECONOMISCHE%20WAARDE,in%20de%20productie%20van%20meststoffen.>

vervaardigd zoals brandvertragers. Susphos is een startup die deze duurzame op fosfaat gebaseerde chemicaliën maakt. In Nieuwegein kan 250- 500 kg struviet per jaar worden terug gewonnen ( ± 0,2 kg/persoon/jaar). Struviet vorming heeft nu geen bijdrage aan de baten omdat fosfaat op dit moment voldoende voorradig is vanuit mest en goedkope fosfaat ertsen. Dit zal in de toekomst veranderen wanneer fosfaat schaarser wordt.

#### 4.6. Energiesysteem

De prestaties van het energiesysteem van de decentrale zuivering in Noorderhoek, Sneek zijn door de Stowa beschreven in diverse rapporten<sup>18</sup>. Hierbij zijn gemeten waarden van de decentrale zuivering geëxtrapoleerd naar een belasting van 1530 i.e en vergeleken met referentie zuiveringen van een Nereda installatie (30.000 i.e.) en een actief slib systeem 100.000 i.e. Het energieverbruik (verbruik heeft een negatieve waarde) is weergegeven in de hoeveelheid primaire energie (kWh<sub>p</sub>) 1 kilowatt uur elektrisch (kWh<sub>e</sub>) is vergelijkbaar met 2,5 kWh primair. Dit komt voort uit het feit dat bij verbranding de efficiëntie naar omzetting naar elektriciteit 40% is.

Tabel 4: Energieverbruik decentrale zuivering 1530 ie t.o.v. centrale zuiveringen

		Decentraal Noorderhoek	Decentraal Noorderhoek	Nereda	Actief slib
		1.530 i.e.	1.530 i.e. potentieel	30.000 i.e.	100.000 i.e.
<b>Aanmaak water en transport</b>	kWh <sub>p</sub> /ie/jaar	-35,0	-35,0	-58,0	-58,0
<b>Warmtebehoefte zuivering</b>	kWh <sub>p</sub> /ie/jaar	-126,5	-38,0	0,0	-6,0
<b>Dieselgebruik WKK</b>	kWh <sub>p</sub> /ie/jaar	0,0	0,0	0,0	-3,0
<b>Warmteproductie warmtepomp</b>	kWh <sub>p</sub> /ie/jaar	176,7	311,0	0,0	0,0
<b>Electriciteitsbehoefte warmtepomp</b>	kWh <sub>p</sub> /ie/jaar	-67,3	-172,1	0,0	0,0
<b>Warmtelevering uit biogas</b>	kWh <sub>p</sub> /ie/jaar	149,9	269,8	0,0	6,0
<b>Elektriciteit zuivering</b>	kWh <sub>p</sub> /ie/jaar	-72,3	-72,3	-52,5	-75,0
<b>Electriciteitsproductie WKK</b>	kWh <sub>p</sub> /ie/jaar	0,0	0,0	0,0	61,0
<b>Energie transport afvalwater</b>	kWh <sub>p</sub> /ie/jaar	-72,0	-72,0	-13,0	-13,0
<b>Totaal primair</b>	kWh <sub>p</sub> /ie/jaar	-46,5	191,5	-123,5	-88,0

De hoeveelheid energie die nodig is voor het aanmaak van drinkwater is voor een decentrale zuivering 25% lager omdat vacuümtoiletten 25% minder water verbruiken (-35 kWh<sub>p</sub>/i.e./jaar). Hierbij staat tegenover dat het transport van afvalwater weer meer energiekost veroorzaakt door het hogere elektriciteitsverbruik van vacuümpompen ( - 72,0 kWh<sub>p</sub>/i.e./jaar). Hierdoor wordt wel het afvalwater geconcentreerd ingezameld waardoor wel het zwarte afvalwater direct kan worden vergist. De hoeveelheid biogas is per i.e. ongeveer 2 keer zo hoog als bij een traditionele zuivering met slibvergisting.

<sup>18</sup> <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202018/STOWA%202018-63%20NS%20Noorderhoek.pdf>

In de Stowa rapportages over Noorderhoek wordt vermeld dat de energiehuishouding van de installatie niet geoptimaliseerd is. Zo kan de verbranding van het biogas efficiënter en kan het zwarte water dat de vergister ingaat deels opgewarmd worden d.m.v. een warmtewisselaar.

De hoeveelheid warmte die uit het biogas in Noorderhoek wordt opgewekt kan verbeterd worden omdat de efficiëntie van de biogasbrander laag is (50%). Efficiëntie waarden voor biogasbranders zijn gemiddeld 90%. In Noorderhoek wordt relatief veel energie gebruikt om de vergister te verwarmen. Dit kan verbeterd worden door een warmtewisselaar in het effluent van de vergister te plaatsen en hiermee het influent op te warmen waardoor de warmtebehoefte van de zuivering met 70-80% verlaagd kan worden.

De gegevens in het rapport van de Stowa zijn gebaseerd op metingen gedaan in 2017. Uit eerdere metingen in 2014 is gemeten dat de hoeveelheid energie die gewonnen kon worden uit het warme effluent 1,75 maal hoger was. Wanneer dit en een hogere efficiency van de biogasbrander en een warmtewisselaar wordt meegenomen in het vergelijk in tabel 4, dan blijkt voor het potentieel van een decentrale zuivering dat deze energieleverend kan zijn. Ook zonder toepassing van warmtepompen op het effluent van een zuivering is de potentie dat een decentrale zuivering netto energie leverend kan zijn.

Het energetisch verschil t.o.v. een zuivering met actief slib is ongeveer 280 kWh<sub>p</sub>/i.e. dit komt overeen met 112 kWh<sub>e</sub>/i.e.. De CO<sub>2</sub> uitstoot voor 1 kWh<sub>e</sub> is 0,457 kg CO<sub>2</sub>. Het verschil in tussen energy behoefte van een centrale zuivering en het potentieel van energie leveren van een decentrale zuivering is 51 kg CO<sub>2</sub> /i.e en voor de hele zuivering komt dit overeen met 74 ton CO<sub>2</sub> per jaar. Dit komt overeen met 3700 bomen die moeten groeien om dit CO<sub>2</sub> verschil op te nemen<sup>19</sup>.

#### 4.7. Kosten zuivering

De kosten voor de zuivering zijn vastgesteld op basis van de methodiek beschreven in een publicatie van de Stowa<sup>20</sup>. In de berekening hieronder die gebaseerd is op die van de Stowa zijn niet meegenomen de kosten voor de riolering (ligt bij gemeente) en de meerkosten voor het sanitair (liggen bij bewoner/projectontwikkelaar). De kosten voor de zuivering zijn geschat en komen overeen met de schatting van Leaf. In de berekening in tabel 5 zijn de jaarlijkse baten voor de levering van warmte (€ 20.800) meegenomen. De kosten hieronder beschreven zijn uitsluitend voor de zuivering. Tabel 5 is een kostenschatting, daadwerkelijke kosten kunnen sterk afwijken door project of locatie specifieke randvoorwaarden. De resultaten van de grove schatting zijn weergegeven in tabel 5.

<sup>19</sup> <https://www.climateneutralgroup.com/nieuws/wat-is-1-ton-co2/>

<sup>20</sup> <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202014/STOWA%202014-38.pdf>



Daarnaast zijn er nog allerlei gunstige financieringsvoorwaarden voor duurzame circulaire concepten zoals het groenfonds waardoor leningen tegen een lager rentetarief kan worden verstrekt<sup>24</sup>.

Daarnaast kunnen duurzaamheidskenmerken zoals BREAAM, GRP of BENG de waarde van vastgoed doen verhogen.

#### 4.9. Disclaimer

Getallen genoemd in deze memo zijn indicatief. Daadwerkelijke cijfermatige onderbouwing is locatie specifiek en moet nader worden bepaald.

## 5. Bijlage 1

Voorbeelden van projecten waar vacuümtoiletten zijn toegepast:

Hamburg (Duitsland) 630 woningen:

<https://www.hamburgwatercycle.de/en/the-jenfelder-au-neighbourhood/the-hwc-in-the-jenfelder-au/>

Den Haag, kantoorgebouw ministerie:

<https://english.rijksvastgoedbedrijf.nl/real-estate/rijnstraat-8-the-hague-government-office>

Sneek, 230 woningen:

<https://www.waterschoon.nl/>

Kerkrade, 114 appartement en 15 woningen:

<https://www.superlocal.eu/primeur-circulair-woningconcept-ontwikkeld-binnen-superlocal-project/>

Leeuwarden, Wetsus:

[www.wetsus.eu](http://www.wetsus.eu)

Amsterdam, Buiksloterham:

<https://www.waternet.nl/werkzaamheden/nieuwe-sanitatie/>

Amsterdam, Strandeiland (8000 woningen):

<https://www.winnovatie.nl/innovatie/nieuwe-sanitatie-strandeiland>

Gent (België) 400 appartementen in de wijk van de toekomst:

<https://ducoop.be/initiatieven>

Helsingborg (Zweden) 350 appartementen en 3 kantoorgebouwen:

<https://hplus.helsingborg.se/reco-lab/>

Londen (UK) Het meest duurzame gebouw ter wereld:

<https://jetsgroup.com/jets-magazine/article/en/the-most-sustainable-office-building-in-the-world>

Sneek, Kantoor Desah

[www.desah.nl](http://www.desah.nl)

NIOO wageningen

Cruiseschepen, vliegtuigen, treinen

<sup>24</sup> <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/regeling-groenprojecten/voorwaarden/banken-met-groenfonds>

## 6. Bijlage 2 Antwoorden op vragen concept rapport

1	De rapportage gaat nu uit van een bussinescase van ca. 1200 woningen met B1 en C1-C5.	Kan deze bussinescase worden aangepast naar C1-C4, dat zijn ca. 500 woningen? C5 doet namelijk niet mee met het Scenario +++ maar alleen ++ Ook mbt de afmetingen van de benodigde ruimte?
	Voor de business-case is uitgegaan van grijswater B1 (ivm terugwinning warmte) en de rest C1-C5 vacuüm 800 appartementen. Kosten van de zuivering schalen niet lineair met het aantal bewoners. Kosten worden per inwoner hoger voor 500 woningen.	
2	Een installatie met vergelijkbare capaciteit zoals beoogd voor Nieuwegein heeft een afmeting van ongeveer (l*b) 17 * 12,50 m.	In de rapportage wordt beschreven dat een grijswater recycling systeem duurder is, welk systeem wordt hiermee bedoeld?
	Hiermee wordt bedoeld een grijswater systeem dat inpandig per appartement het grijs water recycled. Hiervan zijn er meerdere leveranciers, Hydraloop, mijnwaterfabriek zijn voorbeelden van leveranciers. Hydraloop kost ongeveer € 3500,- per apparaat, dan moet ook nog aanpassingen in het leidingwerk plaatsvinden, wat additionele kosten met zich meebrengt. Overigens is de toepassing van een collectieve grijswater recycling systeem waarbij gezuiverd water wordt geleverd niet toegestaan volgens het drinkwaterwet <sup>25</sup> en drinkwaterbesluit <sup>26</sup> . Water voor de toiletspoeling mag uitsluitend uit regenwater worden geproduceerd (artikel 5). Dan kan alleen afvalwater inpandig per appartement gezuiverd worden. Daarnaast neemt een grijswaterzuivering veel ruimte in waardoor toepassing per appartement minder aantrekkelijk wordt. Vacuümtoiletten geven gemiddeld een waterbesparing van > 25% vergelijkbaar met een grijswater zuivering en recyclingsysteem en zijn voor een collectief vacuumsysteem goedkoper dan een inpandig grijswater zuivering en recyclingstysteem per appartement.	
3	De meerkosten voor de toepassing van een vacuümtoiletten per appartement zijn dan $(400 + 250 - 850 + 950) = € 1.600$ tot € 2.200,- per appartement. Dit is veel goedkoper dan een grijswater recyclingsysteem per appartement (welke vergelijkbare waterbesparing levert) waarvoor de kosten voor individuele systemen € 5.000,- - € 10.000,- Euro zijn (inclusief aanpassing leidingen inpandig).	Zijn er naast de aangegeven financieringsmogelijkheden (par. 5.8) nog meer subsidiemogelijkheden?
	Het is denk ik verstandig om hier met een subsidie-expert te overleggen, met name omdat dit speciaal project is en voor de verschillende onderdelen waarschijnlijke verschillende regelingen van toepassing zijn. Hieronder een aantal voorbeelden van regelingen:	

<sup>25</sup> <https://wetten.overheid.nl/BWBR0026338/2021-01-01>

<sup>26</sup> <https://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/2018-07-01>



	<p>Voor CO2 besparende middelen (is een decentrale zuivering)  <a href="https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/sde">https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/sde</a>          Binnen de TKI Watertechnologie is de laatste maanden hard gewerkt aan het groeiplan-idee “De Blauwe Motor” dat inmiddels ingediend is ter beoordeling. Binnen dit groeiplan-idee is, als het doorgaat naar de volgende ronde, ruimte voor tiental tot twintigtal projecten, uitgevoerd door consortia van waterbedrijven, eindgebruikers en onderzoeksinstellingen.  <a href="https://wateralliance.nl/projecten-voor-groeiplan-idee-gezocht/">https://wateralliance.nl/projecten-voor-groeiplan-idee-gezocht/</a>          DEI+: Circulaire economie:  <a href="https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/demonstratie-energie-en-klimaatinnovatie-dei/circulaire-economie">https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/demonstratie-energie-en-klimaatinnovatie-dei/circulaire-economie</a></p>	
4	Tabel 4: kosten decentrale zuivering voor Nieuwegein	Waar zit het verschil met het kostenoverzicht van LeaF? Zij spreken over een totaal investering van +- 10miljoen.
	<p>Voor de inzameling komt Leaf op een bedrag van € 4300 per appartement. Ik heb dit onafhankelijk bepaald (navraag vacuümleveranciers) en kom op het volgende:          Meerprijs vacuümtoiletten, per toilet: € 400          Meerprijs vacuümleiding inpandig: € 250 – € 850 (afhankelijk van de situatie)          Voedselrestenvermaler: € 1000          Totaal dus € 1600 – 2200 Euro per appartement, Leaf neemt nog een douche warmtewisselaarmee (1000 Euro per appartement) en schat het leidingwerk hoger in. Dit hangt van de situatie af (materiaalgebruik en afstandenleidingen). Daarnaast neemt LEAF nog een toeslag van 40% mee voor toeslagen en grijswater riolering (wat niet in dit rapport is meegenomen. Daarnaast gaat LEAF uit van 1250 appartementen en dit rapport 800 appartementen en benoemt LEAF de totale kosten, dit rapport gaat uit van meerkosten. Aannames zijn vergelijkbaar met LEAF, behalve inpandig leidingwerk. Leaf neemt alle kosten mee, inpandig, riolering uitpandig en zuivering uitpandig en neemt nog een toeslag van 40% mee, ik weet niet of deze toeslag realistisch is.</p>	
5	Kosten hydraaloopt systeem dat voorziet in zuivering grijswater op niveau van een woning is 4 tot 7K. En grijswater recycling op blokniveau wellicht nog goedkoper.	Uiteindelijk gaat het om de meerprijs t.o.v. een conventioneel systeem. Kan dit worden toegevoegd?
	<p>Zuivering op blokniveau en terug levering grijswater is wettelijk niet mogelijk, zie ook antwoordvraag 2. Je mag alleen gezuiverd regenwater gebruiken voor toiletspoeling, maar dan moet er eerst wel een ontheffing worden aangevraagd.          Een decentraal systeem vergelijken met een conventioneel systeem is als een diesel auto vergelijken met een elektrische auto. Er worden alleen de kosten meegenomen en niet de duurzame voordelen. Met een conventioneel systeem is het zeer lastig om meer dan 25% drinkwater te besparen.          De meerprijs van een decentrale zuivering tov een conventioneel systeem zijn ongeveer 30 Euro/bewoner/jaar (inclusief exploitatie, afschrijving, baten en beheer en onderhoud zie ook):  <a href="https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202018/STOWA%202018-63%20NS%20Noorderhoek.pdf">https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202018/STOWA%202018-63%20NS%20Noorderhoek.pdf</a>          Dit is berekend voor 1530 inwoners en hier is alles in meegenomen, ook baten. De totale investering is € 2.684.351 Euro (meerkosten in een woning € 901.485, inzamsysteem (vacuumriool en vrij verval</p>	

	riolering € 937.308, zuivering € 845.557 incl zuiveringsgebouw, excl nanofiltratie (schatting € 250.000). In de berekening van 2018 is de energierecuperatie suboptimaal.	
6	Adviesbureau Tauw geeft aan dat er inmiddels vacuüm toilet systemen zijn die veel minder geluid maken. Maar adviseert toch geluidsisolerende maatregelen toe te passen (maatregelen zijn afhankelijk van het ontwerp van het systeem).	Deze maatregelen werken kostenverhogend maar zijn nu niet meegenomen in het financiële overzicht. Zou dit kunnen worden toegevoegd?
	Geluidsisolerende maatregelen betreft het isoleren van de vacuümleiding. Dit is afhankelijk van de gebruikte materialen en hoe de afvoerleidingen in het gebouw lopen en is situatie afhankelijk. Met extra isolerende maatregelen is rekening gehouden, zou dit niet gedaan zijn, dan zouden de meerkosten voor leidingwerk ongeveer € 150 per appartement bedragen.	
7	<b>Overall:</b> Er wordt niet gesproken over afbreukrisico's, lessons learned uit andere projecten, storingsgevoeligheid, eigenaarschap. Zou je hier kort op in kunnen gaan?	
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Geluidsniveau vacuümtoiletten.</b> In Noorderhoek zijn geen soft-sound vacuümtoiletten toegepast. Hierdoor is het geluidsniveau hoog. Vacuümtoiletleveranciers hebben nu nieuwe vacuümtoiletten ontwikkeld met lager geluidsniveau. Het geluidsniveau is vergelijkbaar met conventionele toiletten</li> <li>2. <b>Onderhoud vacuümriolering.</b> Leveranciers bevelen aan om het vacuümriool jaarlijks door te spoelen, of met een zuur te reinigen. Dit laatste wordt in Helsingborg gedaan waar automatisch zuur wordt gedoseerd aan het vacuümriolering. Dit voorkomt scaling (struviet) in de transportleiding</li> <li>3. <b>Goede uitleg aan bewoners.</b> Belangrijk om bewoners uit te leggen wat het systeem doet en hoe het werkt. In Noorderhoek is er weinig uitleg geweest over het functioneren van een keukenvermaler. Wanneer dit wel goed gedaan zo worden dan was er waarschijnlijk meer GFT ingezameld.</li> <li>4. <b>Energiesysteem.</b> Het energie systeem in Noorderhoek werkt suboptimaal dit kan beter met name door toepassing van een warmtewisselaar voor de vergister en een andere biogasbrander met een hoger rendement.</li> <li>5. <b>Kwaliteit gezuiverd water.</b> Door toepassing van nanofiltratie op het effluent kan een zeer goede kwaliteit water worden verkregen.</li> <li>6. <b>Stikstof verwijdering afvalwater.</b> De Oland om ammonium uit afvalwater te verwijderen werkte aanvankelijk sub-optimaal. Deze is aangepast en werkt nu beter. Wellicht kan deze in de toekomst vervangen worden door een unit welke ammonium terugwint.</li> <li>7. <b>Energie systeem.</b> Aanvankelijk werkte het energiesysteem in Noorderhoek sub-optimaal mede door warmtenet voor warmtapwater. Dit aparte warmtenet voor tapwater had veel verliezen.</li> <li>8. <b>Training service monteurs.</b> Bij de start van het project waren service monteurs niet bekend met de werking van het systeem (vacuüm en keukenvermaler). Bij storingen is dit niet altijd goed verholpen. Servicemonteurs moeten hiervoor wellicht eerst een training/uitleg krijgen.</li> <li>9. <b>Goede werking vergister en slib systeem.</b> Beide systemen functioneren ongeveer 10 jaar naar alle tevredenheid. Inmiddels is ook goede operationele ervaring opgedaan waardoor de systemen goed functioneren.</li> </ol>	

## V Bijlage - Concepten

### V.I Permavoid

Permavoid is een systeem dat regenwater met kratjes opvangt voor irrigatie van het gras of de vegetatie die er bovenop ligt. Het product bestaat uit kunststof kratjes (Permavoid units) met een hoogte van 5 mm of 150 mm en een extreem hoge druksterkte (voor personenauto's en vrachtwagens berijdbaar). De units worden onderling gekoppeld met conische verbindingspinnen. Deze dragen verder bij aan de constructieve eigenschappen van het systeem. Hierdoor wordt een ruimte onder de waterdoorlatende laag gecreëerd met een hoge buffer- en afvoercapaciteit.



Figuur B5-1: Dak met Permavoid kratjes in aanbouw. Bron: [www.nieuwestedelijkenatuur.nl](http://www.nieuwestedelijkenatuur.nl).

### V.II Drainage Infiltratie Transport (DIT) riool

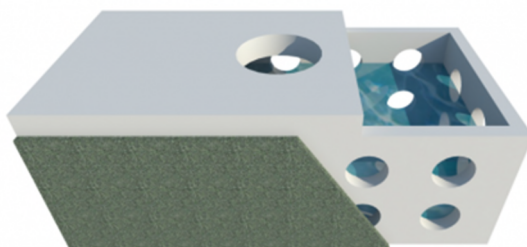
Bij een drainage infiltratie- en transportriool wordt een permeabele rioolbuis gebruikt. Dit kan een met geotextiel omwikkelde geperforeerde horizontale buis zijn (Figuur B5-2) maar ook pre-fab betonnen constructies zoals het Waterblock systeem (Figuur B5-3). Bij neerslag wordt het hemelwater via een DIT riool naar het oppervlaktewater afgevoerd. Maar omdat de Transportleiding geperforeerd is werkt het niet alleen als afvoer maar ook als Infiltratie systeem. Het water kan ook gedeeltelijk infiltreren in de bodem en het grondwater aanvullen. In principe wordt een DIT systeem alleen in openbaar terrein neergelegd. In het geval dat de grondwaterstand hoog is, functioneert het DIT riool ook als Drain waardoor de hoge grondwaterstand sneller zakt.

Dergelijke voorzieningen worden toegepast naast verharde oppervlakken waar geen ruimte is voor een infiltratiegreppel, of bij onverharde oppervlakken waar de doorlatendheid van de bodem gering is. Een DIT riool moet altijd boven het grondwater liggen. Als niet al het regenwater kan worden geïnfiltreerd, zal de buis gaan werken als een gewone afvoer.

Het Waterblock systeem kan worden toegepast onder opritten, parkeerplaatsen, pleinen en wegen maar ook onder groenstroken of sportvelden. Het systeem is te inspecteren, reinigen en te hergebruiken.



Figuur B5-2: DIT riolbuis wordt geïnstalleerd in project Amsterdam Rainproof (bron [www.rainproof.nl](http://www.rainproof.nl)).



Figuur B5-3: Waterblock pre-fab ondergrondse infiltratievoorziening (bron [www.waterblock.nl](http://www.waterblock.nl)).

### V.III AquaBase

AquaBase is een waterbufferende constructie die niet alleen hemelwater vasthoudt maar ook de stabiele basis voor een fundering vormt. Het is in wezen een fundering met een holle ruimte die kan dienen als basis voor een weg, parkeerplein, trambaan of evenemententerrein. AquaBASE werkt overal in de openbare ruimte waar een fundering onder de verharding aanwezig dient te zijn. AquaBASE is een samenwerking tussen Bosch Beton bv, Syntraal, TenCate Geosynthetics en Rotim Innovaties.

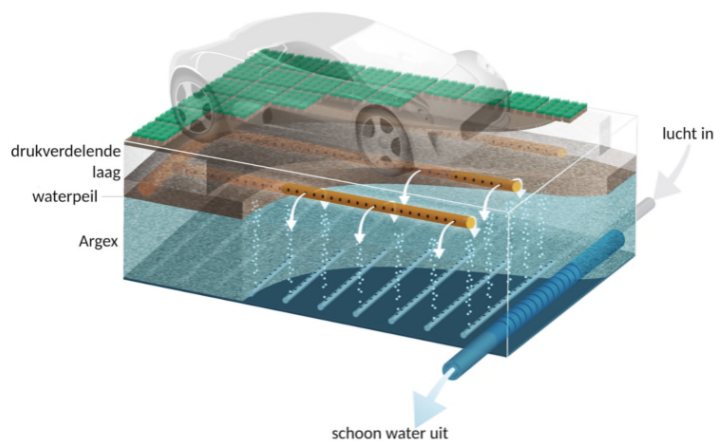


Figuur B5-4: AquaBase buffer in aanleg. Bron: [www.aquabase.info](http://www.aquabase.info).

Aquabase of andere systemen waarbij de holle ruimte van het funderingspakket fungeert als berging hebben in de regel centraal in het pakket een drain om het overtollige water af te voeren. Omdat de drain vooral water zal afvoeren bij forse buien lijkt het minder geschikt om al het water te verzamelen. Het merendeel zal immers direct infiltreren. Mogelijk dat in Nieuwegein, waar hergebruik van het hemelwater centraal staat, daarom een ander type waterberging, zoals een bufferblok, beter geschikt zal zijn.

#### V.IV Phytoparking

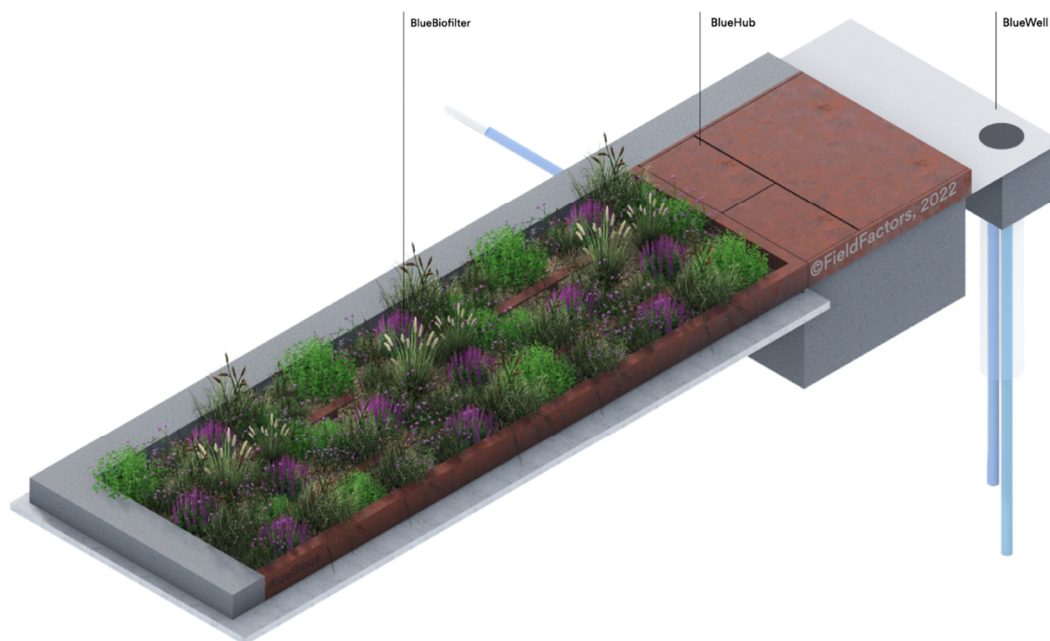
Phytoparking is een specifiek product uit de Phytoair productreeks, waarbij er een parkeerplaats boven op de Phytoair wordt geplaatst. Het bekken van de Phytoparking is gevuld met geëxpandeerde kleikorrels, waarop bacteriën leven die voor de zuivering van het afvalwater zorgen. De bacteriën worden ondersteund door toevoeging van extra zuurstof. Bovenop het bekken wordt een drukverdelende laag aangebracht met een afdekking waarbij verschillende uitvoeringen mogelijk zijn, waaronder als parkeerplaats. De Phytoreeks is voorzien van een intelligente sturing die de hoeveelheid beluchting aanpast aan de hoeveelheid te behandelen afvalwater. Door het creëren van afwisselend zuurstofrijke en zuurstofarme zones ontstaat een rijke variatie aan bacterieleven, wat ervoor zorgt dat er diverse typen contaminanten afgebroken kunnen worden.



Figuur B5-5: Phytoparking onderdelen in schematische weergave. Bron: <https://rietland.com/phytoparking>.

#### V.V BlueBioFilter

BlueBiofilter is een modulair biofiltratiesysteem met hoge zuiveringsefficiëntie en een kleine voetafdruk, gericht op het zuiveren van afvloeiend stedelijk regenwater om te voldoen aan de Europese waterkwaliteitsnormen voor ondergrondse waterberging en hergebruik. Het biofiltratiesysteem, dat typisch bovengronds is, verwijdert specifieke verontreinigende stoffen die voorkomen in stedelijke afvloeiing, zoals metalen, zwevende deeltjes en organische verontreinigende stoffen. Het groene systeem bevat zorgvuldig geselecteerde planten en organische materialen die niet alleen effectief zuiveren, maar ook zorgen voor een mooi aanzicht en biodiversiteit toevoegen aan de omgeving. De BlueBiofilter wordt beschermd door randen die aanpasbaar zijn aan de identiteit van een project, door bijvoorbeeld zitelementen te integreren.



Figuur B5-6: BlueBioFilter – schematische opbouw. Bron: <https://nl.fieldfactors.com/bluebiofilter>.

## V.VI Helofytenfilter

Het hemelwater dat is opgevangen op verhard oppervlak binnen de bouwblokken en in het openbaar terrein is mogelijk verontreinigd door contact met het verharde oppervlak. Voor het kan worden opgeslagen in de ondergrondse waterberging, dient het te worden gezuiverd. In het stedelijk waterconcept wordt gebruik gemaakt van een natuurlijke zuivering met vegetatie (biofilter). De planten in helofytenfilters leveren zelf niet de grootste bijdrage aan de zuivering, dit gebeurt vooral door bacteriën die in de bodem leven. De planten zorgen wel in hoge mate voor een goed leefklimaat voor die bacteriën. Rondom de wortels van de planten leven talloze bacteriën die zuurstof nodig hebben. In vloeivelden en *horizontaal doorstroomde filters* werken de planten als een soort zuurstofpomp die via de wortels zuurstof onder het wateroppervlak inbrengen. De bacteriën zetten afvalstoffen uit het water om in voedingsstoffen voor zichzelf en voor de planten. Verder naar onderen in een helofytenfilter zijn bacteriën die zonder zuurstof leven actief. Deze voeden zich onder andere met de afvalstoffen van de zuurstofminnende bacteriën hoger in het filter. Zo wordt het water op een natuurlijke manier gezuiverd, zonder dat er stoffen behoeven te worden toegevoegd. Het zuiveringsrendement van helofytenfilters is hoog terwijl het energiegebruik laag is, hooguit dient het water eenmalig te worden opgepompt om goed over het filter verdeeld te worden.

Voor bijvoorbeeld huishoudelijk afvalwater wordt het verticaal doorstroomde helofytenfilter ingezet. Het vuile water zakt langs de plantenwortels in ongeveer één tot drie dagen, door een bassin, gevuld met fijn zand (en grindlagen die een functie hebben bij infiltratie en drainage). Er zijn ook helofytenfilters met een systeem voor het toevoegen van extra zuurstof. De bioactiviteit wordt hiermee vergroot wat de capaciteit van het filter ten goede komt.

Zowel het BlueBioFilter als het Phytoair/Phytoparking systeem zijn helofytenfilters.