

KWR 2019.111 | December 2019

# Urban Waterbuffer Spangen: Resultaten



## Urban Waterbuffer Spangen: Resultaten

### Deelrapport TKI project Urban Waterbuffer

KWR 2019.111 | December 2019

#### Opdrachtnummer

401580

#### Projectmanager

Ir. Jan Willem Kooiman



#### TKI-samenwerkingspartners

KWR Water, Wareco Ingenieurs, B-E de Lier BV, Field Factors BV, Gemeente Rotterdam, Dienst Stadsbeheer, Afdeling Water, Gemeente Den Haag, Dienst Stadsbeheer, Afdeling Stedelijk Beheer, Gemeente Rheden, Hoogheemraadschap Delfland, Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard, Evides Waterbedrijf, Stichting RIONED

#### Kwaliteitsborger(s)

Dr. N. (Niels) Hartog

#### Auteur(s)

Dr. K.G. (Koen) Zuurbier  
T.C.G.W. (Teun) van Dooren MSc

#### Verzonden naar

Consortium TKI-UWB

#### 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.

#### Jaar van publicatie

2019

#### Meer informatie

Teun C.G.W. van Dooren

T 030 606 9563  
E teun.van.dooren@kwrwater.nl

Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

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

# KWR

KWR | December 2019 © KWR

#### Alle rechten voorbehouden.

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



# Inhoud

<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>6</b>
1.1	Pilot TKI Urban Waterbuffer Spangen	6
1.2	Locatiekeuze en uitgangspunten	6
1.3	Doel van dit rapport	7
<b>2</b>	<b>Opzet Urban Waterbuffer (UWB) Spangen</b>	<b>8</b>
2.1	Locatie en opzet	8
2.2	Hemelwateropvang	11
2.3	Voorzuivering	12
2.4	Infiltratie en terugwinning	14
2.5	Overig watergebruik	19
2.6	Vergunning	20
<b>3</b>	<b>Geohydrologische karakteristieken</b>	<b>21</b>
3.1	Bodemopbouw	21
3.2	Geochemie watervoerend pakket	21
3.3	Grondwater	23
<b>4</b>	<b>Methoden: monitoring &amp; modellering</b>	<b>25</b>
4.1	Veldmonitoring	25
4.2	Grondwatermodellering	27
<b>5</b>	<b>Resultaten veldmonitoring</b>	<b>32</b>
5.1	Bedrijfsvoering van de Urban Waterbuffer Spangen	32
5.2	Functioneren voorzuivering en infiltratiewaterkwaliteit	38
5.3	Functioneren infiltratie- en onttrekkingsstelsel	43
5.4	Effecten op de omgeving	48
5.5	Kwaliteit winwater	53
<b>6</b>	<b>Resultaten modellering</b>	<b>64</b>
6.1	Infiltratie	64
6.2	Terugwinefficiëntie	64
6.3	Gevoeligheidsanalyse	66
<b>7</b>	<b>Enkele praktische ervaringen</b>	<b>69</b>
7.1	Realisatie	69
7.2	Bedrijfsvoering	70
7.3	Beheer	71
<b>8</b>	<b>Conclusies</b>	<b>72</b>
8.1	Veldpilot UWB Spangen	72
8.2	Bedrijfsvoering	72
8.3	Hydrologische impact	72
8.4	Impact waterkwaliteit	72
8.5	Putverstopping	73
8.6	Praktisch	73

<b>9</b>	<b>Referenties</b>	<b>74</b>
	<b>Bijlage I Boorgegevens B1 (peilbuis)</b>	<b>76</b>
	<b>Bijlage II Boorgegevens B2 (OWB-systeem)</b>	<b>79</b>
	<b>Bijlage III Kwaliteit hemelwater (vóór het zandfilter)</b>	<b>82</b>
	<b>Bijlage IV Kwaliteit infiltratiewater (ná het zandfilter)</b>	<b>83</b>
	<b>Bijlage V Grondwaterstand en -kwaliteit</b>	<b>84</b>
	<b>Bijlage VI Kwaliteit winwater</b>	<b>85</b>
	<b>Bijlage VII Extra microbiologische analyse winwater</b>	<b>86</b>
	<b>Bijlage VIII QMRA Campylobactor</b>	<b>87</b>
	<b>Bijlage IX QMRA Cryptosporidium</b>	<b>91</b>

# 1 Introductie

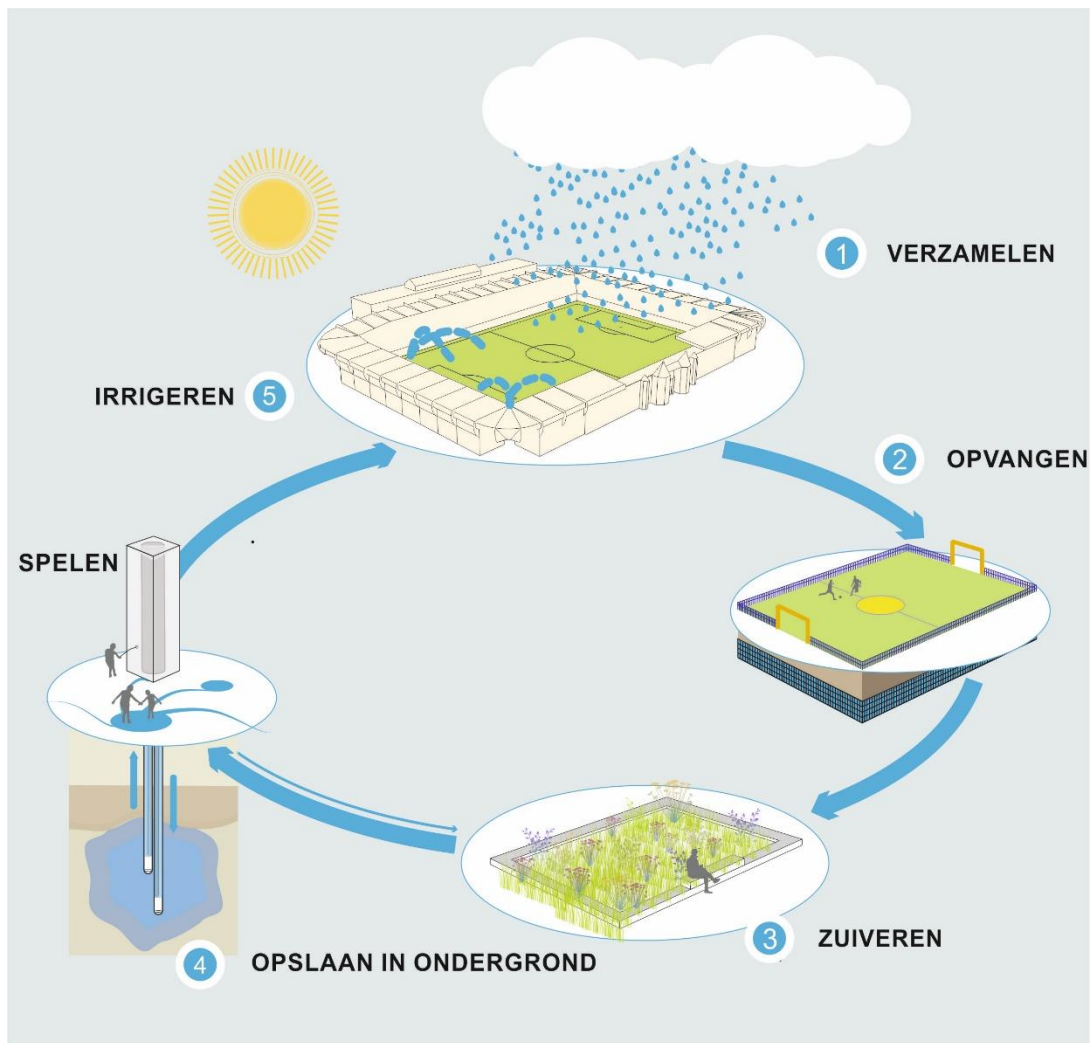
## 1.1 Pilot TKI Urban Waterbuffer Spangen

In 2018 is een Urban Waterbuffer (UWB) gerealiseerd nabij het stadion van Sparta Rotterdam (Het Kasteel). Hemelwater, dat op het stadion en het verharde oppervlak in de omgeving valt, wordt centraal opgevangen onder maaiveld. Na zuivering wordt dit geleidelijk verpompt naar en geborgen in het eerste watervoerend pakket (zandlaag op 16-27 m diepte: aquifer) middels een grondwaterput. Het opgeslagen regenwater kan vervolgens worden teruggewonnen met dezelfde put en nuttig worden toegepast voor het beregenen van het kunstgrasveld van Sparta en voor lokale irrigatie en verkoeling op het plein naast het stadion (Figuur 1-1). De ontwikkeling en monitoring van ondergrondse waterberging (OWB) op deze wijze in het stedelijke domein is ondersteund vanuit het TKI-onderzoeksproject Urban Waterbuffer (UWB: zie [www.urbanwaterbuffer.nl](http://www.urbanwaterbuffer.nl)).

## 1.2 Locatiekeuze en uitgangspunten

Met deze dynamische ondergrondse waterberging kan worden voldaan aan de specifieke opgave voor het gebied Spangen om:

1. wateroverlast te beperken (relevant voor Rotterdam en Delfland)
  - a. Het water kan in de wijk maar moeilijk weg, wat wordt veroorzaakt door de lage ligging en het grote aandeel verhard oppervlak
  - b. Berging in de wijk is nodig, zodat niet al het water snel afgevoerd hoeft te worden via riool en oppervlaktewater. Bij voorkeur wordt er ook extra afvoer gerealiseerd.
    - i. Gewenst is een voorziening die 50 mm neerslag instantaan kan vasthouden en binnen 48 uur kan afvoeren.
2. regenwater vast te houden om beschikbaarheid van zoetwater te vergroten (relevant voor Evides, Sparta en Rotterdam(-circulair))
  - a. Op de locatie gebruikt Sparta drinkwater om het veld in het stadion te besproeien. In de toekomst kan Sparta mogelijk ook voor andere doeleinden het regenwater gebruiken (zoals doorspoelen toiletten)
3. De ruimtelijke kwaliteit te verbeteren (relevant voor Rotterdam, Natuurlijk Spangen, buurthuis Westervolkshuis)
  - a. Vergroening door inpassen wetland (Bluebloqs)
  - b. Waterzuil als esthetisch element



Figuur 1-1: Impressie van de Urban Waterbuffer (UWB) nabij het Spartastadion in Spangen, Rotterdam.

### 1.3 Doel van dit rapport

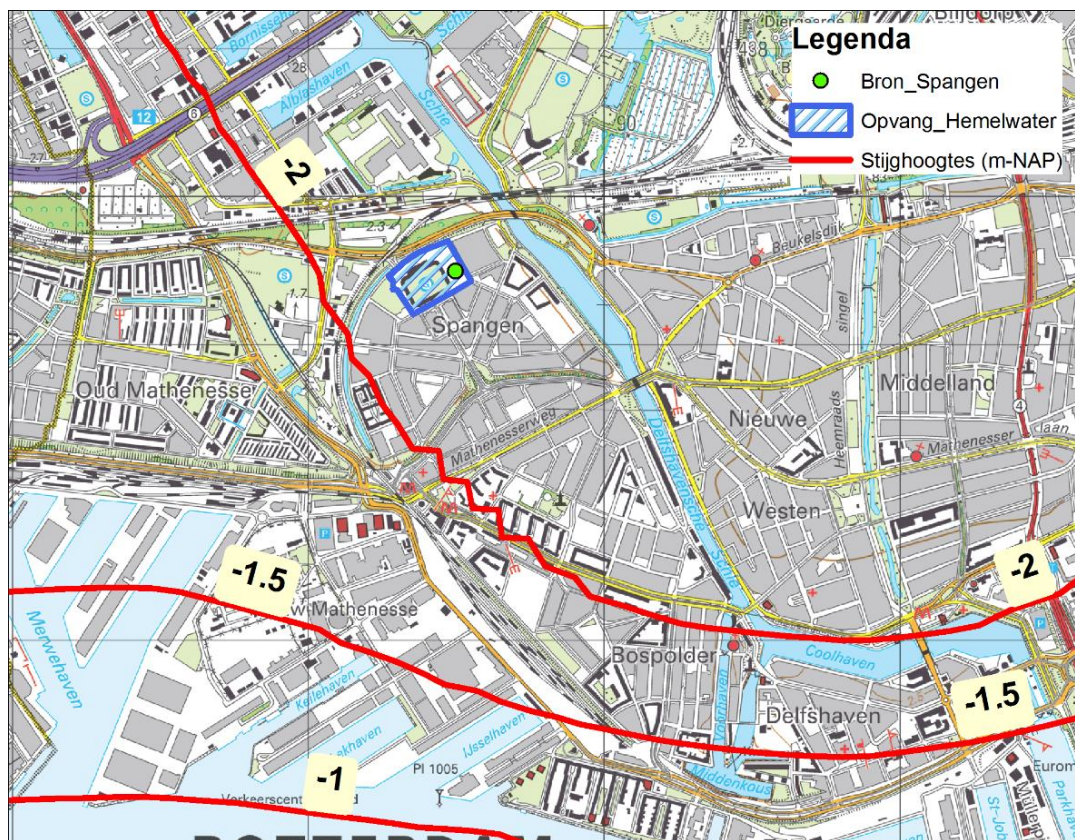
De Urban Waterbuffer in Spangen is uitvoerig gemonitord in 2018 en 2019. Deze rapportage dient als verzameling van alle resultaten die zijn verkregen. Ook is modellering van het systeem uitgevoerd. Voordat deze resultaten worden beschreven, is eerst de opzet van het systeem toegelicht ter introductie (hoofdstuk 2). Ook is de lokale geohydrologie gekarakteriseerd (hoofdstuk 3). De opzet van de monitoring en modellering is beschreven in hoofdstuk 4, waarna de resultaten van de monitoring en de modellering worden toegelicht in respectievelijk hoofdstuk 5 en 6.



## 2 Opzet Urban Waterbuffer (UWB) Spangen

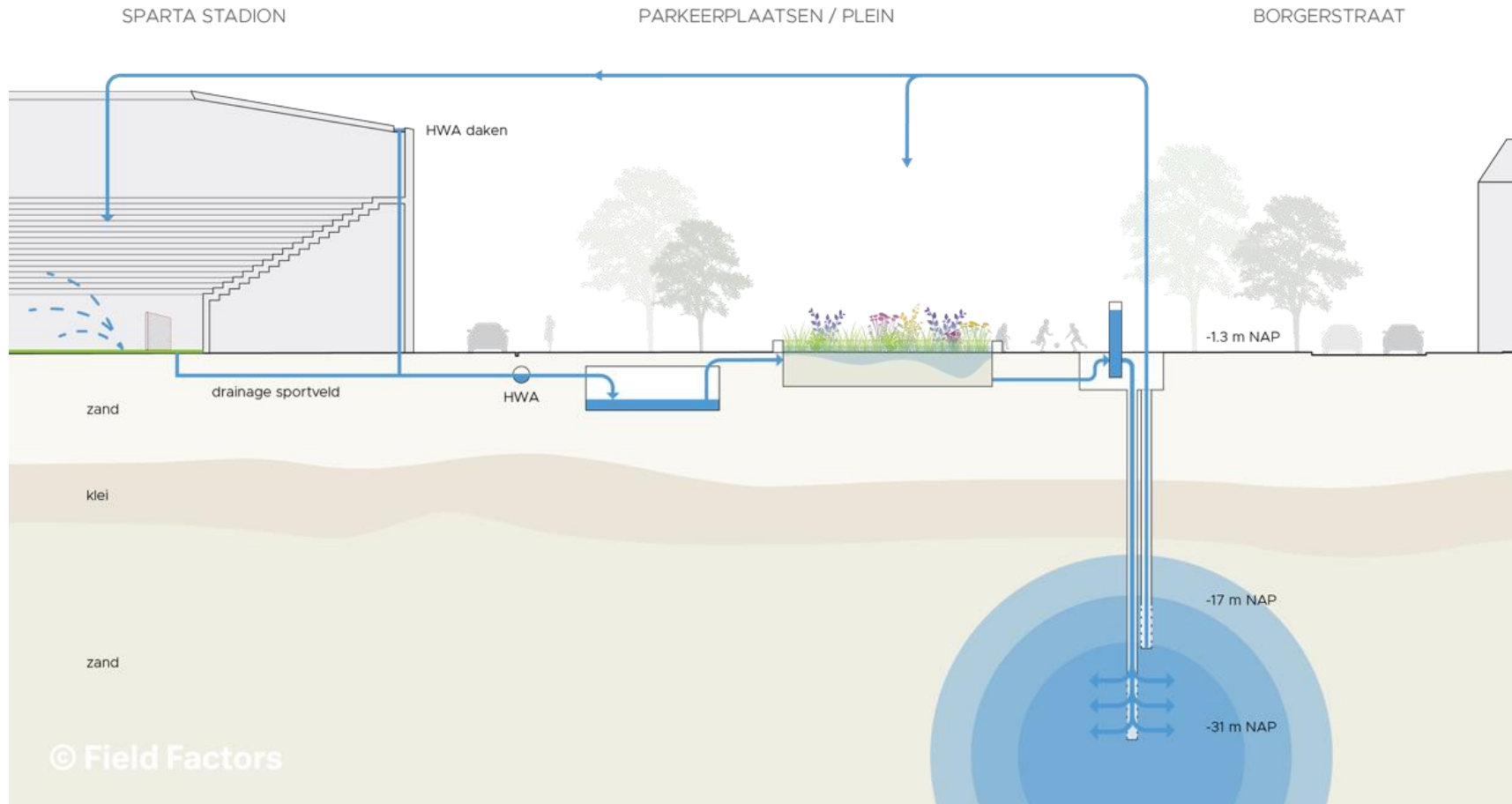
### 2.1 Locatie en opzet

De UWB bevindt zich in de wijk Spangen (Rotterdam). Het terrein waarvan het hemelwater wordt opgevangen, gezuiverd, en geïnfiltreerd, en de locatie van de bron voor infiltratie en onttrekking zijn weergegeven in Figuur 2-1 en Figuur 2-4.



Figuur 2-1: Ligging Projectlocatie in Rotterdam. De coördinaten van de bronlocatie zijn  $x = 89521$  en  $y = 437226$  (Rijksdriehoek).

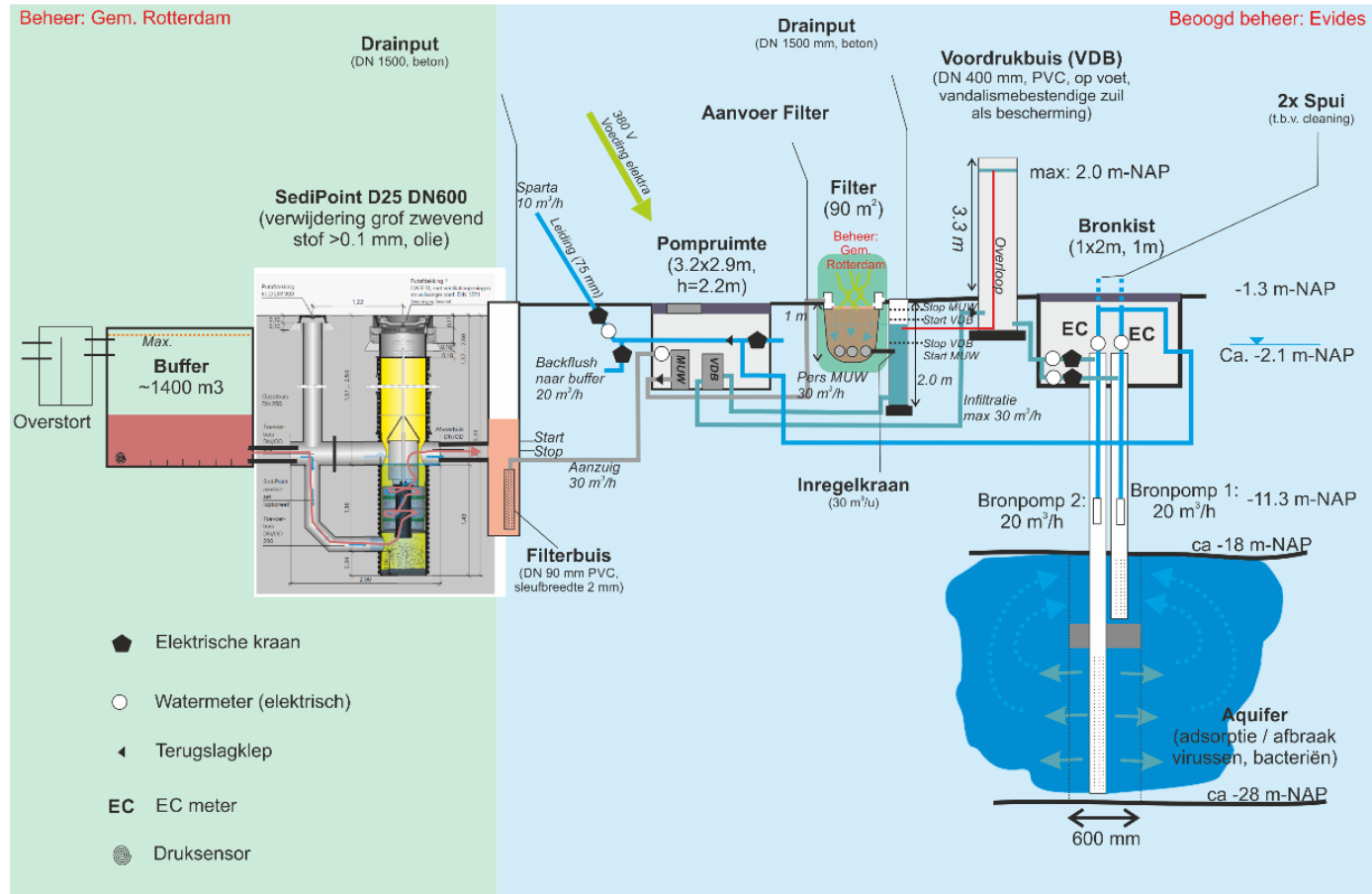
Het gerealiseerde dynamische waterbergingsysteem van Spangen is weergegeven in Figuur 2-2 en de technische specificaties van de UWB zijn gegeven in Figuur 2-3. De verschillende onderdelen worden in de volgende secties nader toegelicht. Het hele systeem wordt aangestuurd via een automatisch regelsysteem dat ondergronds is weggewerkt. Ook het bijbehorende leidingwerk is ondergronds weggewerkt. Het systeem functioneert hierdoor als concept in zijn totaliteit vergelijkbaar met het vaker toegepaste ondergrondse waterberging van hemelwater in de glastuinbouw.



Figuur 2-2: Watersysteem van UWB Spangen.

## Urban Waterbuffer ontwerp

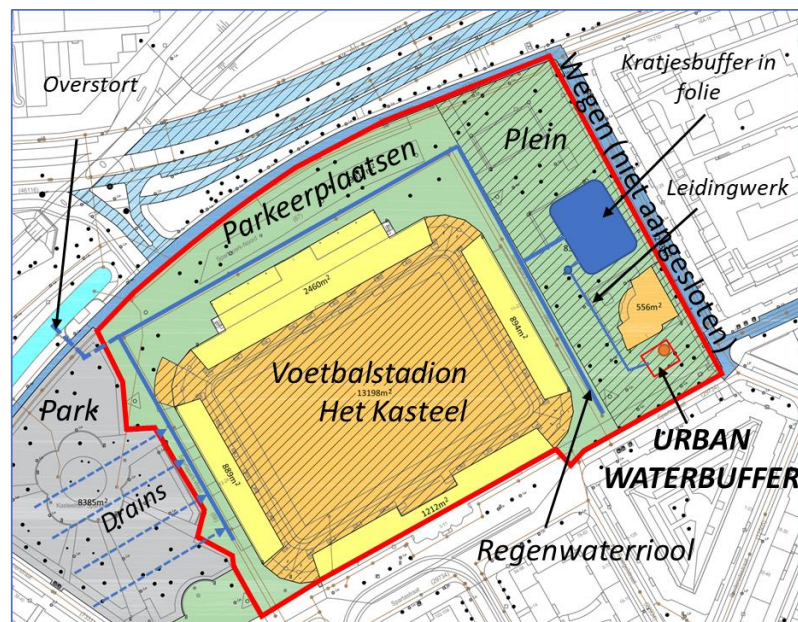
### TKI Urban Waterbuffer



Figuur 2-3: Technische specificaties van UWB Spangen.

## 2.2 Hemelwateropvang

Voor de aansluiting van het hemelwaterafvoer (HWA) stelsel op de UWB is de bestaande hemelwaterriooling langs het stadion aangepast en uitgebreid. Hemelwater dat op het Sparta stadion en een deel van de omgeving valt, wordt centraal, eerst tijdelijk, opgevangen onder maaiveld in een buffer van ondergrondse kratten (type Rigofill) met een capaciteit van 1400 m<sup>3</sup>. De kratten kunnen reguliere verkeersbelastingen aan. Deze buffer kan 31 mm aan neerslag instantaan opvangen als het geheel projectgebied afvoert (Tabel 2-1). De buffer is cruciaal aangezien de infiltratiebron een lagere capaciteit heeft dan de toevoer van hemelwater bij een hoge neerslagintensiteit. Rondom het krattenveld is een folie aanwezig zodat er geen grond in de holle ruimte kan komen en er geen water infiltreert/exfiltreert in/uit de bodem. De afgekoppelde oppervlaktes waarvan het hemelwater wordt opgevangen in de buffer zijn gegeven in Figuur 2-4 en Tabel 2-1. Het betreft de daken van Het Kasteel en de parkeerplaats (middels kolken). Onder het voetbalveld is een drainagesysteem aanwezig. Ook deze zou ondergronds zijn aangesloten op het HWA stelsel in de noordwesthoek van het stadion, maar dit is niet nader onderzocht. Het wegdek van de Borgerstraat en de Spaanse Bocht is niet afgekoppeld. Wel is de HWA rechtstreeks aangesloten op de Spaanse Bocht en voorzien van een overstort. Wanneer het krattenveld vol is zal dus alsnog overstort op de Spaanse Bocht plaatsvinden. Naast het rood omkaderde gebied in Figuur 2-4 is mogelijk ook het park ten zuidwesten van het stadion via drains aangesloten op de afgekoppelde hemelwateropvang.



Figuur 2-4: Afgekoppelde oppervlaktes als bron van infiltratiewater, welke nader zijn gespecificeerd in Tabel 2-1.

Tabel 2-1: Afgekoppelde oppervlaktes rondom Spangen

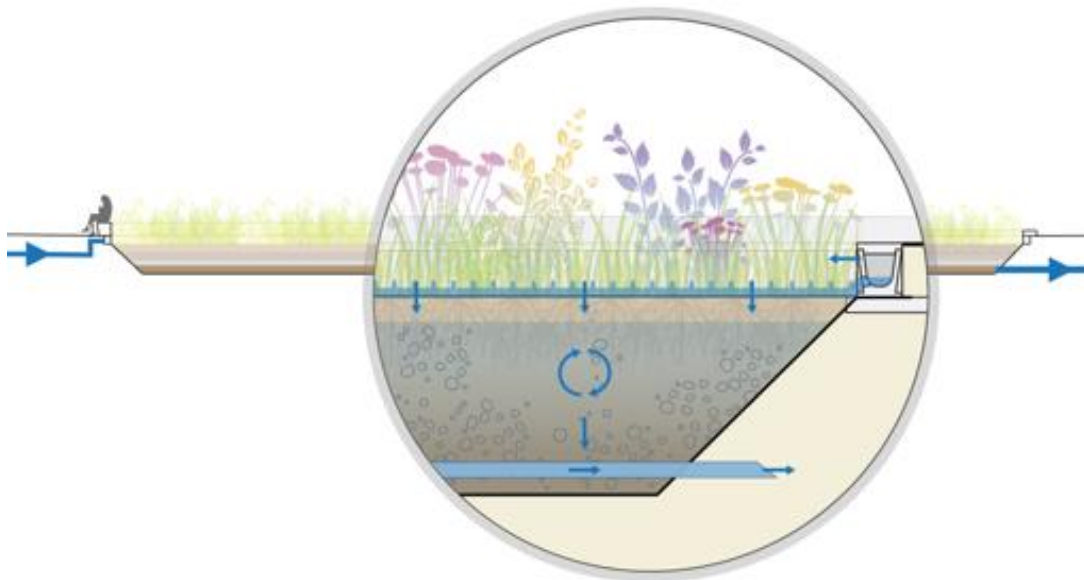
Object	Oppervlak (m <sup>2</sup> )
Dak gebouwen Sparta stadion*	5.460
Parkeerplaatsen / plein*	18.311
Veld*	13.198
Dak Westervolkshuis	556
Park (mogelijk, via drains)	8.400
<b>Totaal</b>	<b>45.925</b>

\* Vermoedelijk reeds op HWA: samen 37.000

### 2.3 Voorzuivering

Voordat het opgevangen hemelwater naar het watervoerend pakket kan worden geïnfiltreerd, wordt het gezuiverd. Dit gebeurt door verwijdering van grovere delen en lichte vloeistoffen (middels Sedipoint) en daarna in een filter c.q. groenstrook ('Bluebloqs: principe verticaal helofytenfilter, gedimensioneerd op het principe van langzame zandfiltratie met een doorstromingsnelheid van maximaal 0.5 m/u en een totaal oppervlak van 120 m<sup>2</sup>). De toegepaste planten in de Bluebloqs zijn robuuste grassen (basissoort Scherpe Zegge) in verschillende maten (tussen 0.50 - 1.60 m hoog). Een schematisatie en impressie van de Bluebloqs filter is gegeven in Figuur 2-5 en Figuur 2-6.

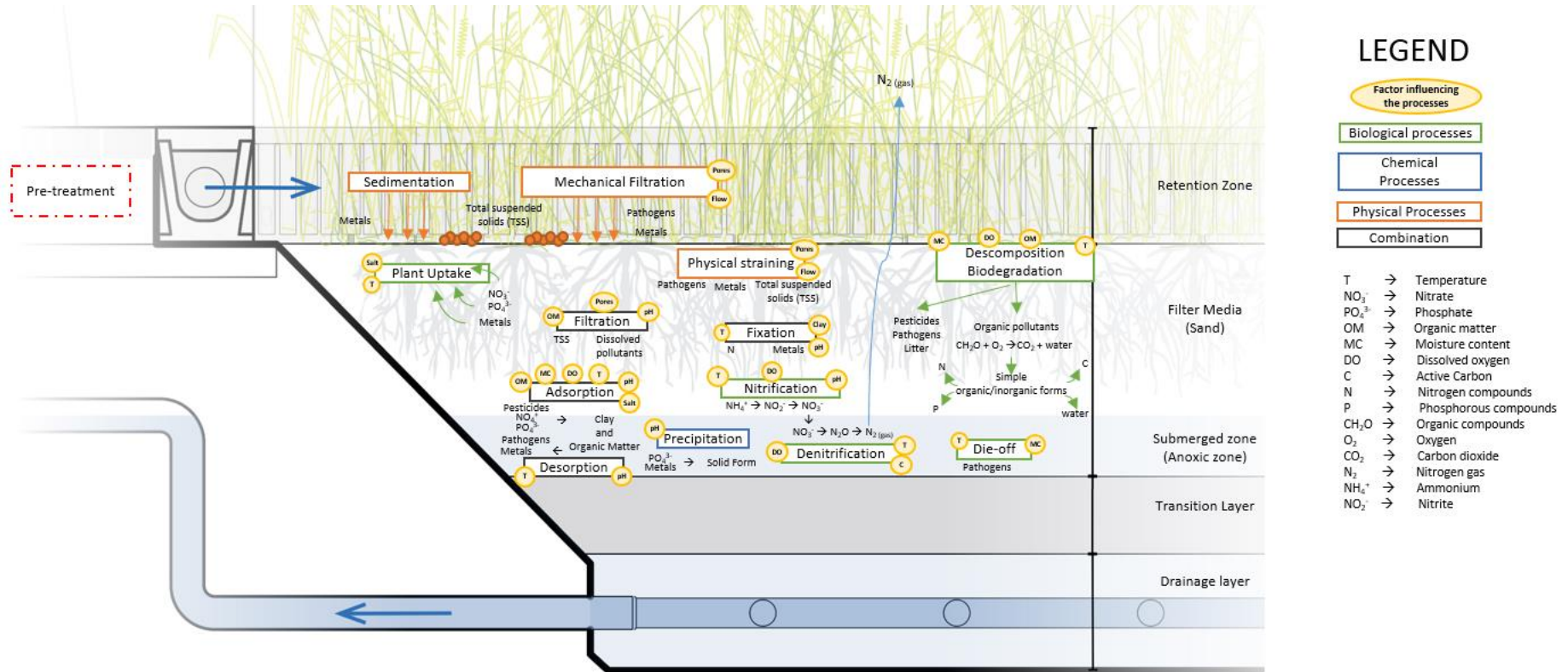
Verzameld hemelwater wordt over de beplanting gevloeid, en stroomt door het filterzand naar de onderliggende filterbuizen. Van hieruit wordt het water afgevoerd naar de ondergrondse waterberging (OWB). Door passage over de planten en door het filterzand heeft de Bluebloqs filter een zuiverende werking voor met name zwevend stof en geadsorbeerde metalen.



Figuur 2-5: Schematisatie van het Bluebloqs filter.

Tabel 2-2: Opbouw van het Bluebloqs biofilter.

Diepte	Materiaal
0 cm	Liner/folie
0 - 30 cm	1,2 - 1,8 mm (zand)
30 - 60 cm	0,8 - 1,25 mm (zand)
60 - 110 cm	0,5 - 1,0 mm (zand)



Figuur 2-6: Veronderstelde hoofdprocessen en relaties tussen de verontreinigende stoffen en componenten in een biofilter (Field Factors). De term 'pre-treatment' linksboven duidt op de voorbehandeling van het toegediende water met de Sedipoint.



Figuur 2-7: Impressie van het Bluebloqs filter.

## 2.4 Infiltratie en terugwinning

### 2.4.1 Ondergronds waterbergingsysteem (OWB)

#### 2.4.1.1 Infiltratie

Vanuit de filterbuizen van de Bluebloqs filter wordt het water met pompen via een drainput naar een voordrukbuys geleid. Deze voordrukbuys is van PVC ( $\varnothing = 400$  mm) en is 3,3 meter hoog. Hierin wordt de druk van het water opgebouwd die benodigd is voor infiltratie naar de ondergrond. De maximale druk is te allen tijde gelimiteerd op een veilige infiltratiedruk (0.2 maal de dikte van de deklaag, cf. BRL 11000) met behulp van een maximaal waterniveau in de voordrukbuys van ca. +2 mNAP. De voordrukbuys is verbonden met de twee bronfilters van het OWB-systeem, en infiltratie wordt in gang gezet door een elektrische afsluiter te openen met een maximaal debiet van  $30 \text{ m}^3/\text{u}$  (=max. capaciteit pomp richting voordrukbuys). Overstroming van de voordrukbuys wordt allereerst voorkomen door een druksensor (verlaagt de frequentie van de pomp zodat minder water richting voordrukbuys gaat) en voor de zekerheid door een fysieke overloop, welke uitkomt in de drainput, waarvan het niveau de toevoer vanuit de Bluebloqs filter regelt. Het bovenzicht is weergegeven in Figuur 2-9.

#### 2.4.1.2 Bronfilters

Het OWB-systeem bestaat uit twee individuele bronfilters, die beiden geplaatst zijn in een enkel boorgat met een diameter van 500 mm. De diepte-intervallen, technische

specificaties, en operationele uitgangspunten van deze bronfilters zijn opgenomen in Tabel 2-3, Tabel 2-4, Figuur 2-8, en Tabel 2-5. De boorgegevens zijn tevens terug te vinden in Bijlage II. Het diepste filter wordt enkel gebruikt voor infiltratie van opgevangen hemelwater, terwijl het ondiepe filter, naast infiltratie tijdens de eerste infiltratiefase, met name is gebruikt voor terugwinning van het opgeslagen water. Wanneer zoet water wordt geïnfilteerd in brak of zout grondwater, zal het zoete water opdrijven door het dichtheidsverschil tussen beide watertypen. Daardoor is naar verloop van tijd minder water beschikbaar bij het diepe filter en juist meer bij het ondiepe filter. Enkel vanuit het ondiepe filter onttrekken zal daardoor resulteren in een hogere terugwinefficiëntie. Ook vindt op deze manier meer bodempassage plaats, zodat afbraak van pathogenen wordt bevorderd. Om kortsluitstroming van water tussen beide filters via het boorgat te voorkomen, is tussen de bronfilters in het boorgat een kleiafdichting aangebracht.

### 2.4.1.3 Backflush

Om verstopping van de infiltratiebron te beperken, vindt na injectie van iedere 20 m<sup>3</sup> automatisch een korte backflush van 5 minuten plaats. De frequentie en de duur van de backflush is in de eerste fase nog gevarieerd. De infiltratie bij de infiltrerende bron wordt dan gestopt en met vol pompvermogen wordt water onttrokken richting het Bluebloqs filter.

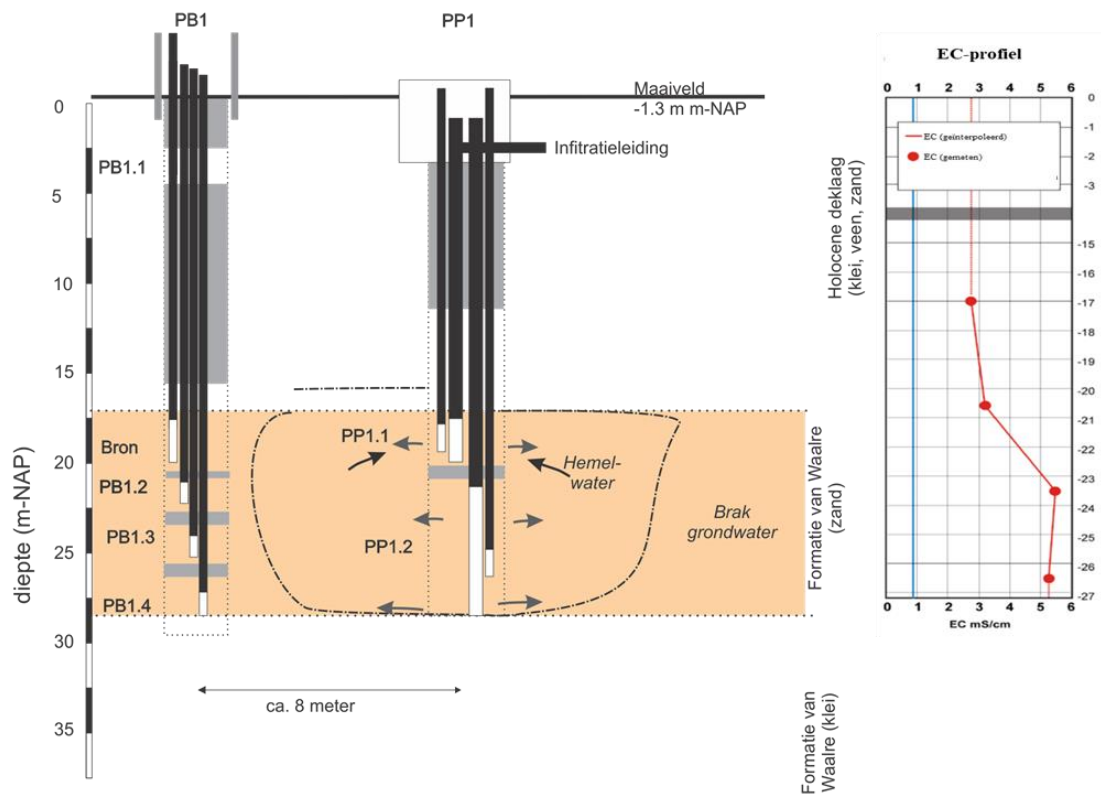
Tabel 2-3: Gegevens bron ondergrondse waterberging

Onderdeel	Waarde	Eenheid
x-coördinaat	89520,7	m
y-coördinaat	437225,7	m
Diameter boorgat	500	mm
<b>Filterstelling Bronfilter 1 (infiltratie &amp; Kleiafdichting 300)</b>	<b>17 - 19</b>	<b>m-mv</b>
<b>Filterstelling Bronfilter 2 (infiltratie &amp; Kleiafdichting 300)</b>	<b>19,1 - 19,5</b>	<b>m-mv</b>
<b>Filterstelling Bronfilter 2 (infiltratie &amp; Kleiafdichting 300)</b>	<b>20 - 26,5</b>	<b>m-mv</b>
Einddiepte	27	m-mv
Diameter filterbuizen	160	mm
Sleufgrootte filterbuizen	0.5	mm
Materiaal filter- en stijgbuizen	PVC	(minimale drukklasse: 7.5 ato)
Korrelgrootte filterzand	1-1,6	mm
Onttrekkingsleidingen	2	stuks tot 9 m-mv (ieder bronfilter)

Tabel 2-4: Operationele uitgangspunten UWB Spangen

Parameter	Maximale waarde	Eenheid
Infiltratie	30	m <sup>3</sup> /u
Winning (tijdens backflush)	30	m <sup>3</sup> /u
Winning (tijdens levering)	10	m <sup>3</sup> /u
Infiltratievolume	30.000	m <sup>3</sup> /j
Terugwinning	20.000	m <sup>3</sup> /j

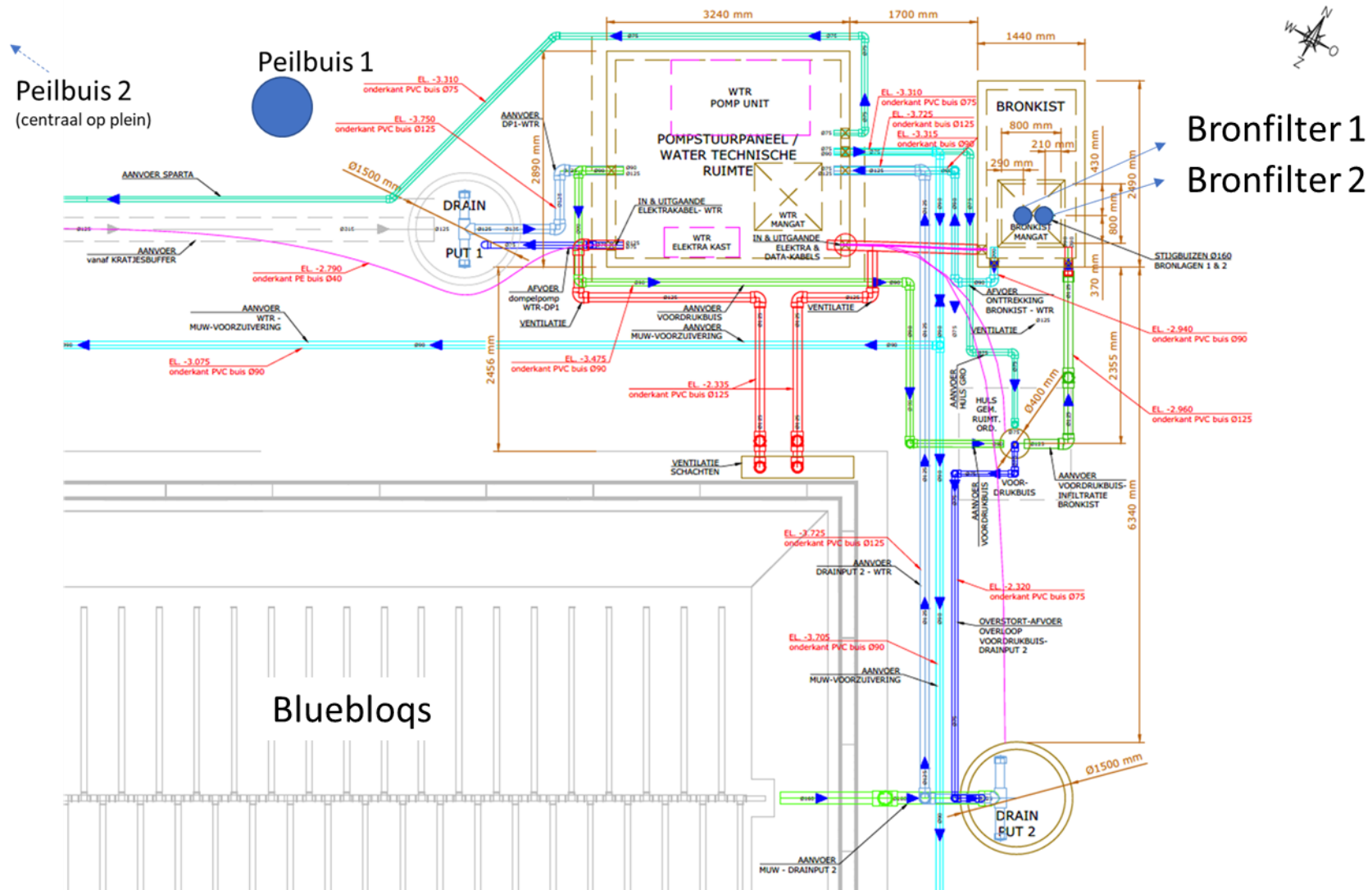




Figuur 2-8: Schematische dwarsdoorsnede van de UWB-bron en de nabije peilbuisfilters (PB 1.X; zie sectie 3.3). Het EC-profiel dat is gemeten ter hoogte van deze filters is gegeven in de rechterfiguur.

Tabel 2-5: Resultaten van de capaciteitsmeting van de twee bronfilters van de UWB. Specifieke debiet is debiet per m verlaging in de bron. De verlaging is gemeten in de bron zelf na het ontwikkelen.

	Debiet m <sup>3</sup> /uur	Verlaging m	Specifiek debiet m <sup>3</sup> /uur/m
Bronfilter 1	23,0	3,86	6,0
Bronfilter 2	27,5	2,14	12,9



Figuur 2-9: Bovenaanzicht Leidingwerk en elementen (as-built, d.d. april 2018), inclusief peilbuizen en bron.

### 2.4.2 Kwaliteitseisen infiltratiewater

Bij het infiltreren moeten zowel grondwaterverontreiniging als putverstopping voorkomen worden. De kwaliteit van het grondwater moet daarom voldoen aan de streefwaarden die zijn opgenomen de Wet Circulaire Bodemsanering voor diep grondwater (>10 m-mv; Staatscourant, 2013), en aan de richtlijnen in Tabel 2-6. Voor P-totaal, arseen, cadmium, lood en nikkel is uitgegaan van de normering in het Besluit kwaliteitseisen en monitoring water (2009). Voor zink is de norm uit het infiltratiebesluit opgenomen (65 µg/l; Wettenbank Overheid, 2009; paragraaf 2.6). Voor nitraat (50 mg/l) en pesticiden (0,1 µg/l) gelden de eisen uit de KRW (RIVM, 2006). Voor barium is door Hoogheemraadschap van Delfland in de vergunning een locatie-specifieke norm van 500 µg/l vastgesteld rekening houdend met de achtergrondwaarde. Zie Bijlage III voor een totaaloverzicht van de gebruikte normen in dit onderzoek. Voor meer informatie wordt verwezen naar Watervergunning 2018-013762/D2018-07-002318 van Hoogheemraadschap van Delfland.

Tabel 2-6: Kwaliteitseisen infiltratiewater

Parameter	Waarde	Eenheid
Zwevend stof	<0.1	mg/l
Troebelheidsgraad	<1	NTU
Ijzer (Fe)	<0.01	mg/l
Sodium Adsorption Ratio (SAR)*	< 6	-
Dissolved organic carbon (DOC)	<2	mg/l
Assimilable Organic Carbon (AOC)	<10	µg acetaat-C/l
Modified Fouling Index (MFI)	<5	s/L <sup>2</sup>

### 2.4.3 Terugwinning en levering aan Sparta

Terugwinning van het opgeslagen water vindt plaats met onderwaterpompen op ca. 10 m diepte. De teruglevering van opgepompt water uit de ondergrond vindt plaats op basis van een extra geplaatste vlotter in de tank voor de beregening, geplaatst boven het niveau van de vlotter van de drinkwatervulling. Zo vindt vulling van de tanks plaats met opgeslagen hemelwater voordat gebruik wordt gemaakt van leidingwater. De zoutconcentratie van het onttrokken water wordt gecontroleerd door een EC meter. Bij overschrijding van de ingestelde maximum EC-waarde (tijdens de proef: 1,5 mS/cm, overeenkomstig met een chlorideconcentratie van ongeveer 250 mg/L Cl), wordt de winning automatisch stopgezet.

#### 2.4.3.1 Gewenste waterkwantiteit beregening Sparta

Sparta sproeit momenteel het kunstgrasveld zeer regelmatig met drinkwater om de bespeelbaarheid van het veld te verbeteren (prettiger en sneller). De totale watervraag hiervoor bedraagt volgens Sparta ca. 15.000 m<sup>3</sup>/jaar (Tabel 2-7). Sproeibeurten duren ca. 8 minuten, waarbij ca. 8 m<sup>3</sup> vanuit bovengrondse tanks wordt aangezogen. Vervolgens worden deze tanks weer aangevuld met drinkwater met een vlotter-gestuurde toevoer. Bij trainings- en wedstrijddagen wordt ca. 3x per dag beregend. Op zomerse dagen met meer wedstrijden kan dit toenemen tot ca. 10 sproeibeurten. In de rust wordt gewoonlijk de helft van het veld beregend (4 m<sup>3</sup>).

Tabel 2-7: Gewenste waterlevering vanuit UWB aan Sparta

Parameter	Waarde	Eenheid
Gewenste leveringscapaciteit	4	m <sup>3</sup> in 30 minuten
Gewenste leveringscapaciteit	8	m <sup>3</sup> /h
Gewenste max. leveringscapaciteit (10	80	m <sup>3</sup> /d
<b>Totale levering</b>	<b>max. 15.000</b>	<b>m<sup>3</sup>/j</b>

### 2.4.3.2 Gewenste waterkwaliteit berekening Sparta

Hoewel de kwaliteitseisen voor beregening van het kunstgras (leverancier: Greenfields) niet hard zijn, zijn de parameters in Tabel 2-8 leidend en komen uit de Drinkwaterregeling (Wettenbank Overheid, 2019). In de praktijk is getoetst of het geleverde water leidde tot visuele beïnvloeding van het kunstgras (neerslagen van kalk of ijzer). Aangaande microbiële risico's is een aanvullende analyse gemaakt.

Tabel 2-8: Gewenste waterkwaliteit berekening Sparta

Parameter		
<b>Chemische kwaliteitseisen</b>		
Totale hardheid	<1,5	mmol/L
Opgelost ijzer	<0,5	mg/L
<b>Microbiologische veiligheid</b>		
<i>E. coli</i>	0	cfu/100 mL
Enterococcen	0	cfu/100 mL
Bacteriën van de coligroep	0	cfu/100 mL
Koloniegetal bij 37°C	<500	cfu/100 mL

## 2.5 Overig watergebruik

Irrigatie van het Bluebloqs filter vindt sinds mei 2019 plaats met het opgeslagen water. Hierbij wordt 3x per dag gedurende enkele uren het filter gevoed vanuit de bron, waarbij het teveel aan water weer in de bodem wordt gebracht. Er vindt dus recirculatie plaats. Het onttrekkingsdebiet is ca. 15 m<sup>3</sup>/u. Ca. 1 m<sup>3</sup>/u hiervan wordt naar de waterzuil geleid en loopt terug de regenwaterbuffer in. Wanneer bewoners gebruik maken van de hendel wordt de waterzuil gedurende 60 seconden ook gevoed met opgeslagen water uit de ondergrond (debiet: 1,5 m<sup>3</sup>/u). De geschatte verdamping vanuit het filter is maximaal 6 mm/d \* 90 m<sup>2</sup> = 0,54 m<sup>3</sup>/d.



Figuur 2-10: Waterzuil inclusief hendel op het plein naast het Bluebloqs filter.

## 2.6 Vergunning

Gemeente Rotterdam heeft voor het systeem een watervergunning verkregen van Delfland om te mogen infiltreren én onttrekken. Aan de vergunningverlening is een effectenstudie voorafgegaan (KWR2017.061). De belangrijkste kenmerken van de vergunning zijn conform Tabel 2-9 en Tabel 2-10. Voor meer informatie wordt verwezen naar Watervergunning 2018-013762/D2018-07-002318 van Hoogheemraadschap van Delfland.

Tabel 2-9: Kenmerken vergunning Sparta

<b>Betreft</b>	<b>Beschrijving</b>	<b>Eenheid / opmerking</b>
Zaaknummer	2018-013762	
Documentnummer	D2018-07-002320	
Max infiltratiedebiet	30	m <sup>3</sup> /u
Max infiltratiedebiet	30000	m <sup>3</sup> /j
Max onttrekkingsdebiet	8	m <sup>3</sup> /u
Max onttrekkingsdebiet	20.000	m <sup>3</sup> /j
Infiltratiewater	Alleen hemelwater	Zonder toevoeging stoffen
Toepassing onkruidbestrijdingsmiddelen	Niet toegestaan	
Verplichte voorzuivering	Zandfilter	Met actief kool of gelijkwaardig
Start infiltratie	Bij buffer >25% vol	
Waterkwaliteitseisen	Streefwaarden diep grondwater	Afwijkingen in Tabel 2-10
Frequentie monsternamen	1x/ 2mnd	

Tabel 2-10: Afwijkende normen waterkwaliteit infiltratie

<b>Parameter / stof</b>	<b>Concentratie</b>	<b>Eenheid</b>
Arseen	18,7	µg/l
Barium	500	µg/l
Cadmium	0,35	µg/l
Lood	7,4	µg/l
Nikkel	20	µg/l
Zink	65	µg/l
Minerale olie	50	mg/l
Nitraat	50	mg/l
P-totaal	6,9	mg/l
Gewasbeschermingsmiddelen per stof	0,1	µg/l
Gewasbeschermingsmiddelen totaal	0,5	µg/l

## 3 Geohydrologische karakteristieken

### 3.1 Bodemopbouw

De bodemopbouw ter plaatse van de UWB is bepaald met behulp van de boorgegevens van de bronput en de nabijgelegen peilbuis (Bijlage I en Bijlage II). De geohydrologie is samengevat in Tabel 3-1, welke is bepaald met behulp van GeoTOP v 1.3 en REGIS II v2.2.

Aan de noord- en oostzijde van het stadion is in 1999 een sanering uitgevoerd waarbij ongeveer 2,5 meter grond is verwijderd en aangevuld met zand (ophooglaag), waarin puinresten voorkomen. Daaronder bevindt zich de 14 meter dikke Holocene deklaag, bestaande uit zeer fijne afzettingen (klei, veen, en fijn zand). Onder de deklaag bevindt zich het beoogde watervoerende pakket op een diepte van ca. -18 tot -28 mNAP en bestaat uit grof zand, en is plaatselijk grindig. De basis van het watervoerend pakket wordt gevormd door een scheidende kleilaag.

De weerstand van de Holocene deklaag wordt geschat op minimaal 1000 d (REGIS II v2.2 geeft geen weerstand van deklagen). Het watervoerend pakket heeft een  $kD$  van minimaal 500 m<sup>2</sup>/dag. De onderliggende kleilaag (Waalre Formatie, voorheen Kedichem Formatie) kan als scheidend beschouwd worden en vormt dus de basis van het beoogde watervoerende pakket.

Tabel 3-1: Geologische opbouw op basis van GeoTOP v1.3 en REGIS II v2.2 en Bijlage I en Bijlage II.  $kh$  = horizontale doorlatendheid,  $kv$  = verticale doorlatendheid,  $kD$  = doorlatend vermogen,  $c$  = weerstand.

Eenheid	Diepte		Dikte m	Lithologie	Doorlatendheid		Parameterisatie	
	(m-mv)	(m-NAP)			$kh$	$kv$	$kD$	$c$
Bestrating (klinkers)	0,0 - 0,1	1,3 - 1,4	0,1	Antropogeen				
Ophooglaag	0,1 - 2,5	1,4 - 3,8	2,4	Zand + puin				
Holocene deklaag	2,5 - 16,5	3,8 - 17,8	14	Klei, veen				
Eerste WVP	16,5 - 27,0	17,8 - 28,3	10,5	(Grof) zand	46		483	
Scheidende laag	27,0 - 41,7	28,3 - 43,0	14,7	Klei		0.006		2500

### 3.2 Geochemie watervoerend pakket

Twee steekmonsters zijn in mei 2018 genomen uit het watervoerend pakket ter plaatse van de UWB Spangen. Uit deze steekmonsters is de korrelgroottedistributie van het sediment bepaald door de VU Amsterdam (Tabel 3-2). Hieruit blijkt dat het pakket voornamelijk bestaat uit middel grof tot grof zand. Er is weinig klei en silt aanwezig in het watervoerend pakket.

De VU Amsterdam heeft tevens middels een thermogravimetrische analyse (TGA) de gehalten van organisch materiaal en kalk bepaald. Bureau Veritas uit Vancouver, Canada, heeft daarnaast een uitgebreide geochemische analyse uitgevoerd middels een XRF-analyse en een ICP-MS scan. Uit de analyses van beide labs blijkt dat het zandige sediment hoofdzakelijk bestaat uit kwarts (circa 80% SiO<sub>2</sub>). In mindere mate zijn klei (op basis van ca. 5% AlO), kalk (op basis van 1-4% CaO), en ijzer (1,1 - 1,7% FeO) aanwezig in het sediment. Het gehalte organisch materiaal is relatief klein (max 1%). Op basis van totale zwavel (S) aanwezigheid kan een FeS<sub>2</sub> gehalte van 0.075% worden berekend, het geen relatief laag is (in Nootdorp zijn gehalten tot boven 1% (gemiddeld: 0.475%) waargenomen (Zuurbier et al., 2016).

Tabel 3-2: Korrelgroottedistributie en geochemie van twee steekmonsters genomen uit het watervoerend pakket ter plaatse van de UWB Spangen.

Diepte			Eenheid	Monster 1		Monster 2	
			mNAP	-22.8 - -23.1		-26.8 - -27.1	
<b>Korrelgroottedistributie (VU Amsterdam)</b>							
Klei		< 8 µm	%	0,28	0,28	0,60	0,60
	Silt	Zeer fijn	8 - 16 µm	%		0,05	0,09
		Fijn	16 - 32 µm	%	0,23	0,08	0,44
	Grof	32 - 63 µm	%		0,10		0,23
Zand		63 - 125 µm	%		0,32		1,43
		125 - 250 µm	%		5,09		24,90
		250 - 500 µm	%	99,49	33,03	98,97	59,53
		500 - 1000 µm	%		50,15		13,10
		1000 - 2000 µm	%		10,89		0,01
<b>TGA (VU Amsterdam)</b>							
Vocht			%		0,07		0,10
OM (330°C)			%		0,07		0,08
OM (550°C)			%		0,26		0,28
CaCO <sub>3</sub>			%		1,27		3,64
<b>XRF &amp; Total C (Bureau Veritas, Vancouver, Canada)</b>							
SiO <sub>2</sub>			%		81,30		83,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			%		5,41		4,01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			%		1,69		1,10
CaO			%		3,76		4,38
MgO			%		0,45		0,34
Na <sub>2</sub> O			%		0,89		0,77
K <sub>2</sub> O			%		2,03		1,41
MnO			%		0,06		0,03
TiO <sub>2</sub>			%		0,18		0,16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			%		0,05		0,03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			%		<0,01		<0,01
Ba			%		0,03		0,02
LOI			%		3,32		3,73
SO <sub>3</sub>			%		0,069		0,072
Sr			%		0,014		0,014
TOT/C			%		0,92		0,97
TOT/S			%		0,04		0,04
Ba			ppm		376		5,9
Co			ppm		250		2,6
Cu			ppm		32,2		15,1
Pb			ppm		42,0		4,1
Zn			ppm		24		12
Ni			ppm		19,0		8,4
As			ppm		2,4		2,1
Cd			ppm		<0,1		<0,1

### 3.3 Grondwater

#### 3.3.1 Grondwaterkwaliteit

Om de kwaliteit van grondwater te bepalen is een monitoringsput met daarin enkele peilbuizen geplaatst op 7 meter afstand van het OWB-systeem (Figuur 2-8, Figuur 2-9 en Tabel 3-3). Ter plaatse van dit boorgat is bovenin het watervoerende pakket een klein bronfilter (PB1-B) gerealiseerd om werkwater voorhanden te hebben bij het boren voor het OWB-systeem. Een extra freatische peilbuis (PB2A) is beschikbaar midden op het plein op ca. 100 meter afstand van het OWB-systeem, en is bemonsterd om de kwaliteit van insijpelend grondwater te analyseren. Na de realisatie van het OWB-systeem, is op verschillende dieptes de referentiesituatie van de grondwaterkwaliteit gemeten (Tabel 3-4).

Tabel 3-3: Overzicht van peilbuizen die gebruikt zijn tijdens de monitoring (Bijlage I en Bijlage II). Twee peilbuisfilters bevinden zich in de omstorting van het boorgat van het OWB-systeem ter hoogte van de bronfilters (Bron1 en Bron2), en de overige peilbuisfilters zijn ca. 7 meter (PB1-B, PB1.1 – PB1.4) en 100 meter (PB2A) verwijderd van de bron.

	Eenheid	Bron1	Bron2	PB1-B	PB1.1	PB1.2	PB1.3	PB1.4	PB2A
Bovenkant filter	m-mv	17	22	16,5	1,3	20	23	26	1,5
Onderkant filter	m-mv	19	25	19	2,3	21	24	27	3,5
Diameter	mm	33	33	75	33	33	33	33	33
Perf. diameter	mm	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Materiaal	-	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC

Tabel 3-4: Referentie grondwaterkwaliteit bij het eerste bronfilter en bij verschillende peilbuisfilters.

Parameter	Eenheid	Bron1	PB2A	PB1.2	PB1.3	PB1.4
Diepte	m-mv	16,5 – 19	1,5 – 3,5	20 – 21	23 – 24	26 – 27
Datum		15/5/18	30/10/18	15/5/18	15/5/18	15/5/18
<b>Veldmetingen</b>						
Stijghoogte	m t.o.v. mv	-0,46	-1,06	-0,44	-0,47	-0,47
Stijghoogte	mNAP	-1,44	-2,29	-1,67	-1,70	-1,70
pH	-	6,7	6,7	6,7	6,9	6,9
Temperatuur (pH)	°C	15,8	16	13,7	13,6	14,2
EC	mS/m	293	138,5	318	544	533
O <sub>2</sub>	mg/L	0,48	0,29	0,51	0,38	0,5
Troebelheid	NTU	1,56	29,8	1,63	2	3,49
<b>Labmetingen</b>						
pH	-	6,6	-	6,7	7	6,8
Temperatuur	°C	17	-	17	16,8	16,4
EC	mS/m	277	-	313	539	525
calcium (Ca)	mg/l	150	140	140	170	260
ijzer (Fe)	µg/l	13000	16000	11000	8500	15000
kalium (K)	mg/l	13	6,9	14	24	13
magnesium (Mg)	mg/l	49	24	57	120	75
mangaan (Mn)	µg/l	910	1800	1200	1500	680
natrium (Na)	mg/l	340	75	400	780	710
ammonium als N	mg N/l	23	11	23	22	16
ammonium als NH <sub>4</sub>	mg NH <sub>4</sub> /l	30	14	29	28	21
opgelost fosfaat als P	mg P/l	< 0,05	1,1	0,06	0,62	< 0,05
opgelost fosfaat als PO <sub>4</sub>	mg PO <sub>4</sub> /l	< 0,15	3,4	0,18	1,9	< 0,15
nitraat als N	mg N/l	< 0,05	<0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
bicarbonaat (HCO <sub>3</sub> )	mg/l	790	<6 <sup>1</sup>	670	830	660
chloride (Cl)	mg/l	560	1900	780	1500	1600
sulfaat (SO <sub>4</sub> )	mg/l	< 30	<30	< 30	< 30	< 30
totale hardheid	meq/l	12	8,8	12	18	19



In het watervoerend pakket (Bron1, PB1.2, PB1.3, en PB1.4) blijven de concentraties van nitraat en sulfaat onder de detectielimiet. Daarnaast heeft zuurstof erg lage concentraties en is ammonium aanwezig in het grondwater. Dit duidt op diep anoxische omstandigheden. Het grondwater is tevens rijk aan ijzer en mangaan. Het grondwater in het watervoerend pakket heeft een natrium-chloride type en de concentratie chloride neemt in het watervoerend pakket toe van 560 mg/L op 17 m-mv (PB1-Bron) tot 1600 mg/L op 27 m-mv (PB1.4). Het grondwater in het watervoerend pakket wordt dus duidelijk zouter met de diepte. Tijdens de eerste meetronden is een hoge detectielimiet voor  $SO_4$  gehanteerd (30 mg/L), welke tijdens latere ronden is verlaagd naar 1 mg/l. Typisch brakke monsters bleven namelijk onder detectielimiet. Aangenomen wordt dat het brakke grondwater diep anoxisch (methanogeen) is.

Het freatische grondwater in de deklaag (PB2A) heeft een andere samenstelling dan dat van het grondwater in het watervoerend pakket. Zo heeft dit freatische grondwater een opvallend hoge concentratie chloride, en is het rijk aan fosfaat, ijzer, mangaan, en onopgeloste bestanddelen (troebelheid). Daarnaast is de concentratie van bicarbonaat zeer laag, en is de hardheid lager dan dat van dieper grondwater. Gezien de ionenbalans (niet-kloppend) en de EC van dit monster, is er een fout gemaakt bij de analyse en is de gerapporteerde concentratie bicarbonaat te laag. Daarnaast is de gerapporteerde chlorideconcentratie vermoedelijk te hoog t.o.v. de gerapporteerde natriumconcentratie. De relatief hoge concentraties fosfaat, ijzer, mangaan, ammonium en onopgeloste bestanddelen zijn wel in lijn met de verwachte samenstelling van ondiep grondwater.

### 3.3.2 Grondwaterstand en -stroming

Bij de referentiemeting bedraagt de freatische grondwaterstand bij peilbuisfilter PB1.1 -2,7 mNAP en bij peilbuisfilter PB2.1 -2,3 mNAP (Tabel 3-4, Bijlage V). De stijghoogte in het watervoerend pakket bij het peilbuisnest en bij de bron bedraagt ca. -1,4 mNAP tot -1,7 mNAP. Dit duidt op sterke kwel van dieper grondwater door de deklaag.

De freatische grondwaterstanden van -2,3 mNAP en -2,7 mNAP komen grofweg overeen met de freatische grondwaterstanden van ca. -2,1 m-NAP die zijn waargenomen in peilbuizen 126567-1, -6 en 8 van het achtergrondmeetnet van de gemeente Rotterdam (Tabel 3-5), welke in de directe omgeving van UWB Spangen staan.

Aan de Huygensstraat zo'n 150 meter ten zuidoosten van het stadion is een peilbuis aanwezig met een filter onder de deklaag in het eerste watervoerend pakket (Pleistocene afzettingen). Deze peilbuis staat bij het DINO-loket bekend als peilbuis B37G0345 en heeft metingen tot slechts 1992.

Afgaande op de isohypsen in het eerste watervoerende pakket (Tabel 3-5), is de achtergrondstroming beperkt: max. ca. 7 m/j in noordoostelijke richting.

Tabel 3-5: Kenmerkende grondwaterstanden en stijghoogtes rondom UWB Spangen.

Type	Laagste (mNAP)	Gemiddeld (mNAP)	Hoogste (mNAP)
Freatisch	-2,7	-2,5	-2,3
Stijghoogte WVP	-1,7	-1,6	-1,4

## 4 Methoden: monitoring & modellering

### 4.1 Veldmonitoring

De volgende monitoringsdoelen zijn gesteld:

1. Vaststellen functioneren voorzuivering en infiltratiewaterkwaliteit;
2. Vaststellen functioneren infiltratie- en onttrekkingsysteem;
3. Vaststellen effecten op de omgeving;
4. Vaststellen kwaliteit i.r.t. gebruik als irrigatiewater in openbare ruimte.

Waterkwaliteitsbemonsteringen zijn uitgevoerd om deze doelen na te streven (Tabel 4-1) en aanvullende monsters zijn genomen van het winwater t.b.v. microbiologische analyses (op 3, 5, 9, en 12 juli 2019). Daarnaast is het infiltratie- en onttrekkingsysteem gemonitord (Tabel 4-2). Al deze metingen worden nader toegelicht in de volgende secties.

Tabel 4-1: Overzicht van waterkwaliteitsbemonsteringen.

Datum (dd-mm-jj)	15-5-18	27-9-18	11-10-18	30-10-18	12-11-18	18-12-18	14-1-19	28-1-19	29-1-19	11-2-19	26-2-19	29-3-19	24-4-19	16-5-19	1-7-19	
Week#	20	39	41	44	46	51	3	5	5	7	9	13	17	20	27	
Locatie																Analyse
Grondwater	x				x		x		x	x	x	x	x	x	x	Macrochemie
Hemelwater (voor filter)		x	x	x	x	x		x			x	x	x	x	x	Volledige scan
Infiltratiewater (na filter)		x	x	x	x	x		x			x	x	x	x	x	Volledige scan
Winwater								x			x	x	x	x	x	Volledige scan
Tank Sparta											x	x	x	x	x	Microbiologie

Tabel 4-2: Monitoring functioneren infiltratiesysteem

Onderdeel UWB	Eenheid	Frequentie	Type sensor
<b>Neerslag</b>			
- Hoeveelheid	mm	60 minuten	'Tipping bucket' op dak van Spartastadion
<b>Retentiebuffer</b>			
- Niveau	m of Pa	30 minuten	Druksensor
- EC	mS/m	30 minuten	EC-sensor
<b>Bluebloqs</b>			
- Voeding	m <sup>3</sup>	30 minuten	EM-debietsensor (Woltman)
- Niveau	m of Pa	30 minuten	Druksensor
<b>Voordrukbuis</b>			
- Levering	m <sup>3</sup>	30 minuten	EM-debietsensor (Woltman)
- Niveau	m of Pa	30 minuten	Druksensor
<b>Bronfilters</b>			
- Infiltratie (x2)	m <sup>3</sup>	30 minuten	EM-debietsensor (Woltman)
- Onttrekking (x2)	m <sup>3</sup>	30 minuten	EM-debietsensor (Woltman)
- EC (x2)	mS/m	30 minuten	EC-sensor
<b>Monitoringsput (PB1.1-PB1.4)</b>			
- EC (x4)	mS/m	15 minuten	
- Druk (x4)	m of Pa	15 minuten	CTD-sensor (Van Essen)
- Temperatuur (x4)	°C	15 minuten	

#### 4.1.1 Vaststellen functioneren voorzuivering en infiltratiewaterkwaliteit

De prestatie van de voorzuivering en de infiltratiewaterkwaliteit zijn vóór de ingebruikname van het infiltratiesysteem bepaald (sep-nov 2018). Verschillende keren is gewacht tot de retentiebuffer voor >50% gevuld was met regenwater met een representatieve mengkwaliteit van verschillende buien. Nadat het hemelwater door de voorzuivering is geleid, is het via het riool geloosd om het bufferniveau weer te verlagen. Het influent (vóór de voorzuivering) en effluent (ná voorzuivering) is viermaal bemonsterd (zonder filtratie in het veld) door VLG Gemeente Rotterdam onder toezicht van KWR. De monsters zijn door Eurofins in het lab geanalyseerd op basis van de volgende parameters, cf. het monitoringsplan in KWR2017.061 d.d. 25-4-2018:

- EC, pH, Temperatuur, en O<sub>2</sub>;
- Na, Cl, Ca, K, Mg, Fe, Mn, HCO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>, en totale hardheid;
- Zware metalen, PAKs, BTEX, minerale olie, AMPA/Glyfosaat, en *E. coli*;
- Zwevend stof, troebelheid, Fe, en DOC.

De resultaten zijn getoetst tegen de eisen die worden gesteld in het infiltratiebesluit en tegen de operationele richtlijnen die worden gehanteerd om putverstopping zoveel mogelijk te voorkomen. Het influent en effluent is gedurende infiltratie nog zesmaal op deze wijze bemonsterd en geanalyseerd om het functioneren van de voorzuivering en de kwaliteit van infiltratiewater te blijven valideren.

Er is zoveel mogelijk geprobeerd het zandfilter enkele uren in bedrijf te hebben voordat monsternamen plaatsvond, maar dit is in niet altijd gelukt. Het monster van water na het zandfilter kan daarom soms langere tijd in het filter hebben verbleven dan normaal tijdens voorzuivering voor infiltratie.

#### 4.1.2 Vaststellen functioneren infiltratie- en onttrekkingsysteem

Na goedkeuring van de evaluatie van de toekomstige infiltratiewaterkwaliteit en het functioneren van de voorzuivering door Delfland, is in november 2018 gestart met de infiltratie. Daarbij is de voeding van hemelwater aan de Bluebloqs biofilter gemonitord, evenals de volumes die per bronfilter (x2) worden geïnfilterd en onttrokken, en de EC die per bronfilter (x2) is gemeten. Dit is met sensoren gedaan die zijn ingesteld op een meetfrequentie van 30 minuten.

#### 4.1.3 Vaststellen effecten op de omgeving

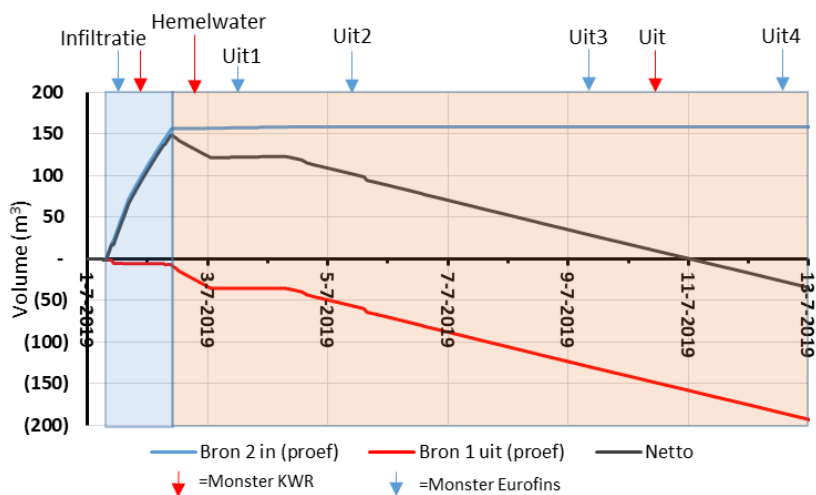
De hydrologische effecten van infiltratie en onttrekking op de omgeving zijn bepaald door de freatische grondwaterstand en de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket in een peilbuisnest op 7 meter afstand van de bronfilters (Tabel 3-3) te monitoren met dataloggers. Daarnaast is de hoeveelheid neerslag bij de UWB gemonitord met een neerslagmeter op het dak van het Spartastadion. De chemische effecten die infiltratie en onttrekking van hemelwater op de grondwaterkwaliteit hebben, zijn bepaald door het grondwater bij de bronfilters en bij het peilbuisnest op 7 meter afstand (Tabel 3-3) meerdere keren te bemonsteren en bij Eurofins te analyseren op de volgende parameters:

- EC, pH, Temperatuur, troebelheid, en O<sub>2</sub>;
- Na, Cl, Ca, K, Mg, Fe, Mn, HCO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>, en totale hardheid;

#### 4.1.4 Vaststellen kwaliteit winwater

Het winwater is vijf keer tijdens onttrekkingsfases bemonsterd en geanalyseerd op dezelfde parameters als tijdens de validatie van de voorzuivering. Deze waterkwaliteit is getoetst tegen de eisen die Sparta stelt aan het water voor beregening van het kunstgrasveld. Extra aandacht is besteed aan de microbiologische kwaliteit van het water in de tank, die de beregening van Sparta direct voedt, door daar aanvullende bemonsteringen en analyses te verrichten.

Een aanvullende studie is gedaan naar de microbiologische kwaliteit van het winwater. Hierbij is van 1 juli (middag) tot 2 juli 2019 (ochtend) 148 m<sup>3</sup> regenwater in de bodem gebracht via bronfilter 2 met een gemiddeld debiet van 6 m<sup>3</sup>/u (Figuur 4-1). Dit water is vervolgens met ca. 1 m<sup>3</sup>/u onttrokken met bronfilter 1. Zowel tijdens infiltratie als op verschillende momenten tijdens winning zijn monsters genomen. Deze monsters zijn ofwel via Gemeente Rotterdam naar Eurofins gestuurd, of bij KWR geanalyseerd.



Figuur 4-1: Verpompings tijdens aanvullende proef microbiologie. Door KWR zijn achtereenvolgens monsters genomen van resp. infiltratiewater, onbehandeld regenwater, en winwater. Door Rotterdam zijn monsters naar Eurofins gestuurd van infiltratiewater (1x) en winwater (4x).

## 4.2 Grondwatermodellering

De prestatie en efficiëntie van de ondergrondse waterberging kan voor de lange termijn worden ingeschat met behulp van een grondwatermodel. De hoofdvraag die bij deze grondwatermodellering is gehanteerd luidt als volgt:

*'Wat zijn de controlerende (geohydrologische en operationele) factoren die de terugwinefficiëntie (RE) van de UWB bepalen, en op welke manier beïnvloeden zij deze RE?'*

Met het grondwatermodel is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarmee bepaald is:

- Hoeveel hemelwater kan worden opgevangen, behandeld, en geïnjecteerd;
- Wat de verwachte terugwinefficiëntie van de UWB is in de toekomst;
- Hoe gevoelig de terugwinefficiëntie is voor een verandering of afwijking van de geohydrologische en operationele parameters.

In dit hoofdstuk worden de opzet en methode van de grondwatermodellering beschreven. De resultaten van de grondwatermodellering worden nader toegelicht in hoofdstuk 6.

### 4.2.1 SEAWAT

SEAWAT versie 4 is de numerieke modelcode die is gebruikt voor de grondwatersimulaties (Langevin et al., 2008). Deze code is succesvol gebleken voor de modellering van de prestatie van OWB-systemen met meerdere bronfilters (MPPW: 'multiple partially penetrating wells'; Zuurbier et al., 2014). Grondwaterstroming wordt berekend middels MODFLOW 2005, en stoftransport (zoet-zout interactie) middels MT3DMS op basis van de elektrische geleidbaarheid (EC). De solvers en bijbehorende parameters die zijn gebruikt voor de modellering zijn gegeven in Tabel 4-3. Daarnaast is de voor advectie het 3<sup>e</sup> orde TVD-schema gebruikt met een Courant-getal van 0,1, en zijn voor dispersie een longitudinale en transversale dispersiviteit van respectievelijk 0,01 en 0,001 gebruikt. De effectieve moleculaire diffusie bedraagt 8,64E-5 m/d.

Tabel 4-3: Solvers en bijbehorende parameters gebruikt in de SEAWAT-grondwatermodellering.

	MODFLOW 2005		MT3DMS	
Solver package	PCG		GCG	
Maximal Inner iterations	50		250	
Maximal Outer iterations	150		500	
Preconditioner scheme	-		SSOR	
Convergence criterion	Head	1E-3	Concentration	1E-9
	Residual	1E-3		

### 4.2.2 Modelparameters

De geohydrologische parameters die zijn gebruikt in de modellering zijn gegeven in Tabel 4-4, en zijn gebaseerd op de bodemopbouw die is gegeven in Figuur 2-8 en sectie 3.1.

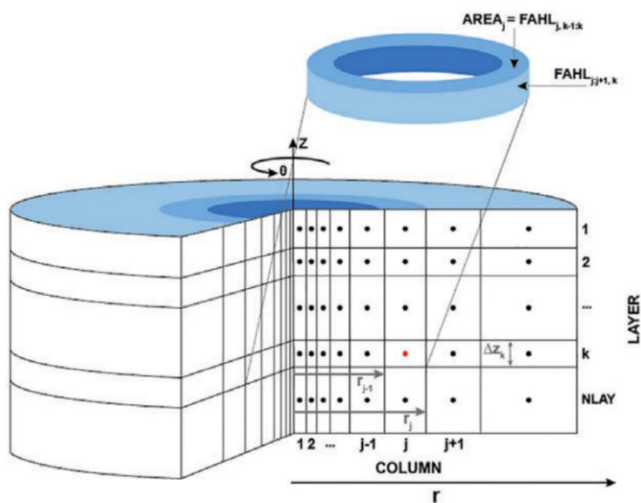
Tabel 4-4: Geohydrologische parameters die zijn toegepast in het grondwatermodel; D = dikte pakket,  $\phi$  = porositeit,  $S_s$  = specifieke bergingscoëfficiënt,  $K_h$  = horizontale hydraulische doorlatendheid, VANI (=  $K_h/K_v$ ) = verticale anisotropie,  $kD$  = doorlatend vermogen, en  $c$  = weerstand.

	Modellagen	D	$\phi$	$S_s$	$K_h$	VANI	$kD$	$c$
	#	m	-	-	m/d	-	m <sup>2</sup> /d	dagen
Ophooglaag	1	2,50	0,30	1E-5	20	2	50	
Holocene deklaag	1	13,75	0,35	1E-4	0,07	10		1960
Kreftenheye formatie	12	10,75	0,30	1E-5*	40*	2	430	
Waalre formatie	3	3,00	0,35	1E-4	0,01	10		300

\*  $S_s$  en  $K_h$  zijn bepaald door middel van kalibratie (zie sectie 4.2.3).

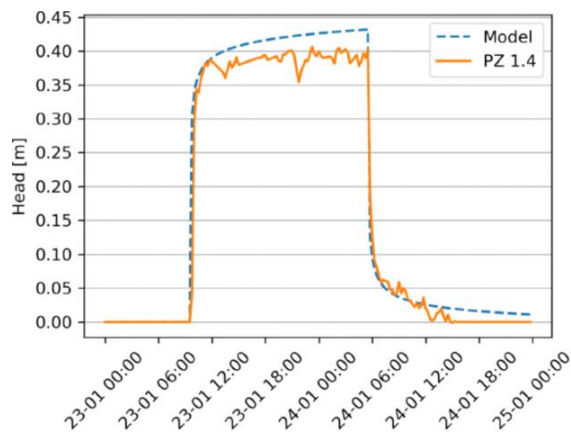
### 4.2.3 Kalibratiemodel

Allereerst is gebruik gemaakt van een kalibratiemodel om de  $K_h$  en de  $S_s$  te bepalen, waarbij een axisymmetrisch grid is gehanteerd met de bronfilters in het centrum van het model (Figuur 4-2). Als straal van het model is viermaal de spreidingslengte ( $4 \cdot \sqrt{c_{deklaag} \cdot (kD)_{Kreftenheye}}$ ) gehanteerd, waarbij maximale waarden voor  $c_{deklaag}$  en  $kD_{Kreftenheye}$  van respectievelijk 2000 dagen en 1000 m<sup>2</sup>/dag zijn aangenomen. Daardoor is de straal van het model ca. 6 kilometer, en hebben de randen van het model geen invloed op de resultaten van de modellering (Maas, 1996). De celgrootte bedraagt 10 cm rond de bronfilters en neemt verder van de bronfilters toe tot uiteindelijk 500 meter.



Figuur 4-2: Axisymmetrisch grid dat is gebruikt in het kalibratiemodel.

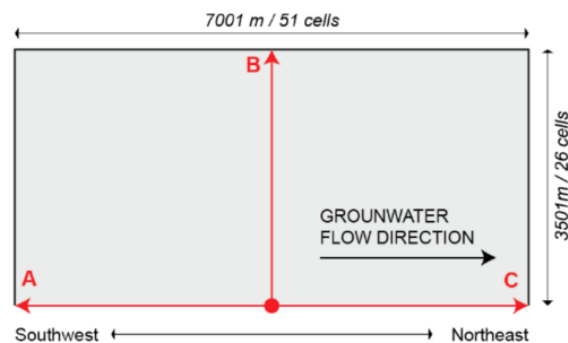
Het nadeel van een axisymmetrisch model is dat laterale grondwaterstroming niet kan worden meegenomen in de modelberekening. Wel kan het effect van grondwaterstroming op de RE worden ingeschat met een analytische formule (Bloemendal en Hartog, 2018). In de kalibratie van de modellering is het effect van laterale grondwaterstroming echter geminimaliseerd door een relatief korte kalibratieperiode van twee dagen te gebruiken. De data die is gebruikt voor de kalibratie betreffen stijghoogtewaarnemingen bij PB1.4 van 23 januari 2019, waarbij het infiltratiedebiet relatief constant ( $14 \text{ m}^3/\text{u}$ ) is gebleven gedurende 20 uur (Figuur 4-3). De specifieke bergingscoëfficiënt ( $S_s$ ) en de horizontale hydraulische doorlatendheid ( $K_h$ ) zijn aangepast totdat de gemodelleerde stijghoogtes vrijwel overeenkwamen met de waarnemingen (Figuur 4-3). Dit resulteerde in de waarden gegeven in Tabel 4-4.



Figuur 4-3: Kalibratie van het axisymmetrisch model met de stijghoogtewaarnemingen bij PB1.4.

#### 4.2.4 Simulatiemodel

Voor de bepaling van de prestaties van de UWB is laterale grondwaterstroming wel degelijk belangrijk. Daarom is naast het kalibratiemodel een driedimensionaal model gebruikt, waarbij de gekalibreerde waarden voor  $K_h$  en  $S_s$  zijn toegepast. Het driedimensionale model betreft de helft van het totale domein, zodat de rekentijd beperkt blijft (Figuur 4-4). De celgrootte bedraagt  $1 \times 1$  meter dichtbij de bronfilters en neemt geleidelijk toe tot  $500 \times 500$  meter naar de randen van het model. Om laterale grondwaterstroming te simuleren zijn aan de zuidoostkant en de noordwestkant van het model cellen met constante stijghoogtes toegepast. Deze constante stijghoogtes zijn aan de zuidoostkant groter dan aan de noordwestkant, waardoor de gradiënt ca.  $0.34 \text{ m/km}$  bedraagt en de grondwaterstroming loodrecht op de x-as naar het noordwesten is gericht. De stijghoogte van de overige cellen kan vrij variëren.



Figuur 4-4: Bovenaanzicht van het driedimensionale modeldomein dat is gebruikt bij de simulaties. De bronfilters bevinden zich op de rode punt aan de rand van het domein.

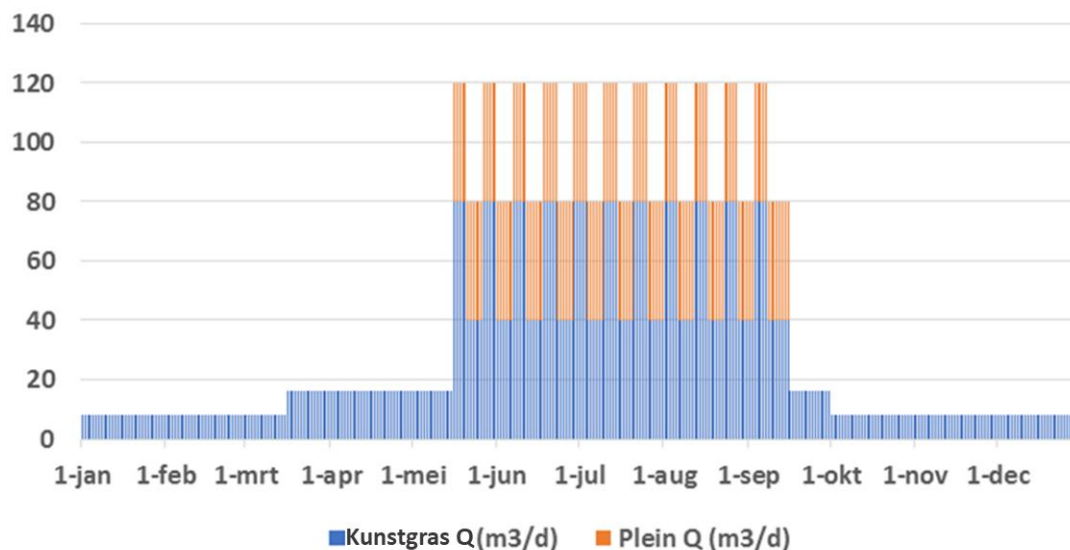
#### 4.2.5 Infiltratie

De infiltratie van de UWB is gebaseerd op de hemelwateropvang en is daardoor onregelmatig. De dagelijkse neerslagreeks tussen januari 2009 en december 2018 (10 jaar) van het KNMI-station in Rotterdam is gebruikt voor de simulatie van neerslag. Verschillende aannames zijn gedaan voor de gemodelleerde hemelwateropvang:

- Tussen april en oktober bereikt dagelijkse neerslag <2 mm door verdamping niet de hemelwateropvang, en tussen oktober en april is dit voor neerslag <1 mm het geval;
- Het afgekoppelde oppervlak in het model bedraagt 37.000 m<sup>3</sup> en niet 45.925 m<sup>3</sup> (park draagt niet bij; Tabel 2-1), Slechts de helft van dit terrein draagt bij aan hemelwateropvang. Hiermee wordt gecorrigeerd dat een deel van het hemelwater direct wegsijpelt naar het freatische grondwater (bijv. via de voegen van de bestrating), en dat mogelijk een deel van het totale oppervlak niet is afgekoppeld op het infiltratiesysteem.
- De EC van opgevangen hemelwater bedraagt gemiddeld 595  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , gebaseerd op metingen tussen december 2018 en mei 2019.

#### 4.2.6 Onttrekking

Sparta heeft geen strenge eis voor de chlorideconcentraties in het onttrokken water. Daarom is in de grondwatermodellering een (arbitraire) concentratie van 150 mg/L Cl aangenomen als drempelwaarde voor de onttrekking, wat gelijk is aan de maximale waarde die is opgenomen in het Drinkwaterbesluit. Deze concentratie komt grofweg overeen met een EC van 920  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . De onttrekking in de grondwatermodellering is gebaseerd op het regime van de vraag van Sparta (Figuur 4-5), en stopt zodra de EC bij de ondiepe bronfilters, waarmee wordt onttrokken de drempelwaarde heeft bereikt. In de wintermaanden bedraagt de watervraag van Sparta ca. 8 m<sup>3</sup>/dag, terwijl deze in de zomermaanden ca. 120 m<sup>3</sup>/dag kan bedragen.



Figuur 4-5: Regime van de waterbehoefte van Sparta, bestaande uit irrigatie van het kunstgrasveld en uit de irrigatie en verkoeling op het plein, uitgedrukt in m<sup>3</sup>/d.

#### 4.2.7 Gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheid van verschillende geohydrologische en operationele factoren en de invloed ervan op de terugwinefficiëntie van de UWB is bepaald met het driedimensionale simulatiemodel. De parameters die daarbij zijn gevarieerd zijn als volgt:

- Horizontale hydraulische conductiviteit: 5, 25, 40, 50, 70, en 100 m/d.
- VAN: 1, 2, 3, 5, en 10.
- Dichtheid van lokaal grondwater: gevarieerd door de EC op alle dieptes te variëren: -70, -50, -20, -10, +10, +20, +50, en +90% van de gemeten EC.
- Infiltratiedebiet: gevarieerd door de maximale capaciteit aan te passen: 8, 10, 12 m<sup>3</sup>/uur.
- Infiltratievolume: gevarieerd door de neerslagreeks proportioneel aan te passen



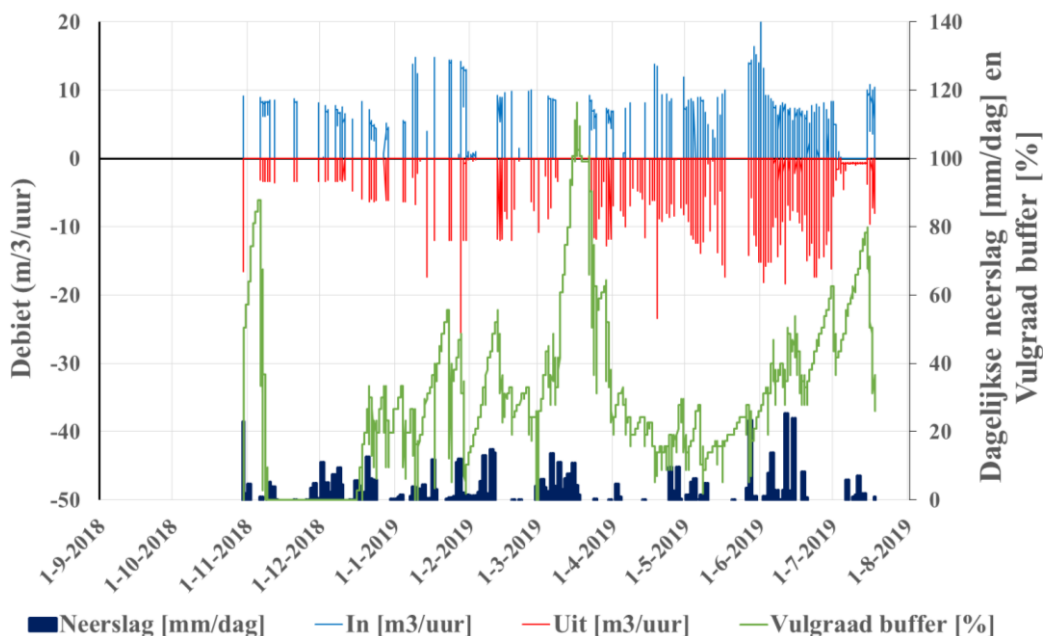
## 5 Resultaten veldmonitoring

### 5.1 Bedrijfsvoering van de Urban Waterbuffer Spangen

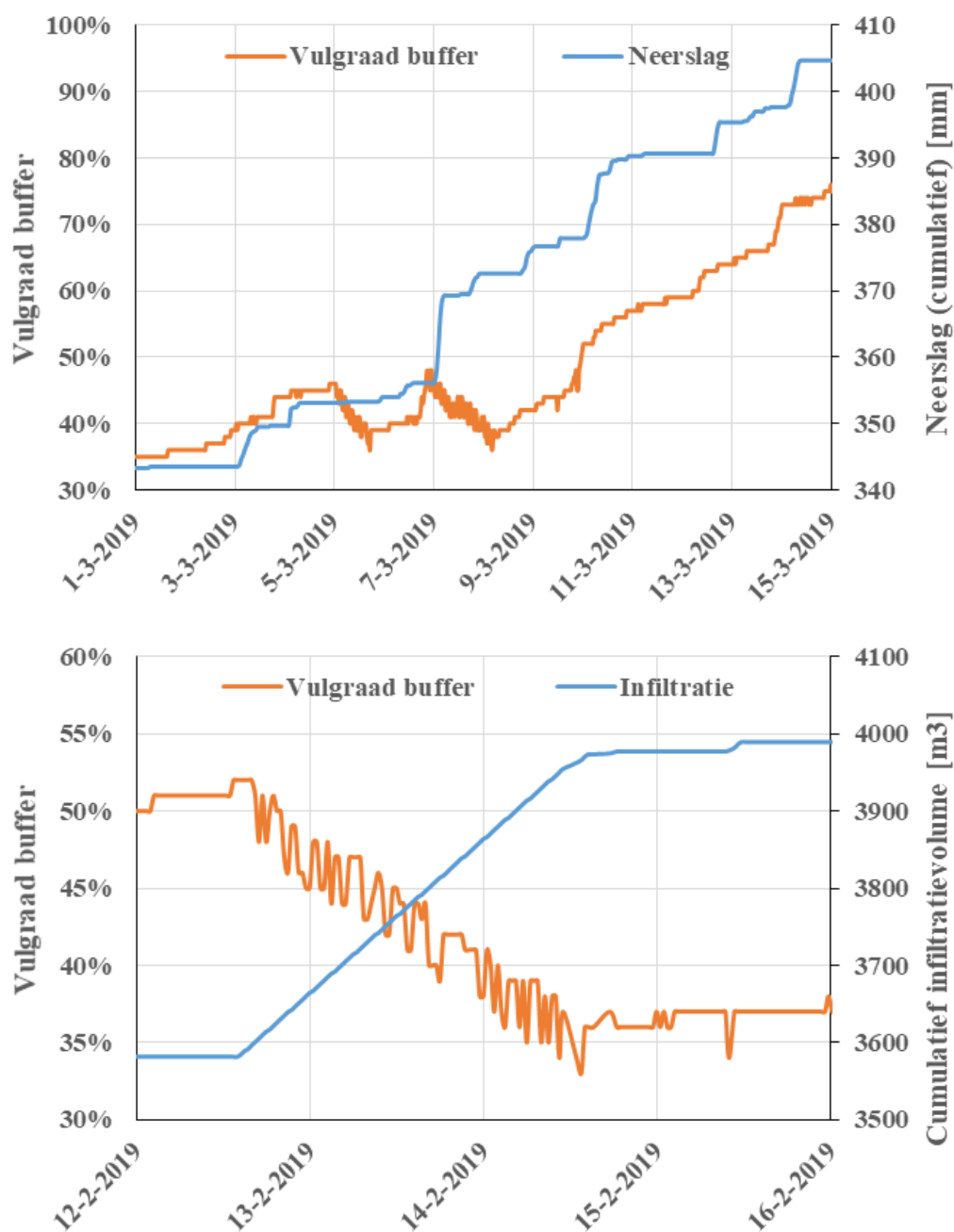
#### 5.1.1 Neerslag en vulling buffer

De dynamiek van de retentiebuffer als respons op de hoeveelheid dagelijkse neerslag en de hoeveelheid infiltratie is opgenomen in Figuur 5-1 en Figuur 5-2. Door de infiltratie kon het niveau in de buffer op een laag niveau worden gehouden, zodat er ruimte beschikbaar blijft om zware buien op te vangen. De benodigde tijd om het bufferniveau weer te verlagen is ca. 1 dag bij kleine buien. Wanneer de buffer vrijwel vol is, duurt het ca. 5 dagen om al het water weer geheel te infiltreren (infiltratiedebiet: ca. 10 m<sup>3</sup>/u). Er is geen andere manier ingebouwd om de buffer te ledigen. Het volgende viel op:

- De buffer was vrijwel vol toen gestart werd met infiltratie (november 2018), daarna is deze consequent laag gehouden en sinds half december zijn ruimere bandbreedtes aangehouden (buffer tussen ca. 10-40% vol);
- In maart 2019 vond overstort plaats doordat door een storing (softwarematig) de infiltratie niet tijdig startte. Het feit dat de buffer in die tijd voor 120% gevuld is, betekent dat water via de overstort richting het oppervlaktewater in de Spaanse Bocht stroomde;
- In juli 2019 is het niveau in de buffer bewust hoog gehouden tijdens gerichte proeven gericht op vaststellen van microbiologische veranderingen van opgeslagen water. Daarna is het niveau weer verlaagd;
- De buffer loopt ook in droge perioden langzaam vol (orde grootte: 10-20 m<sup>3</sup>/d). Uit camera-inspecties blijkt dat dit komt door lekkages bij aansluitingen in het regenwaterriool, waardoor ondiep grondwater instroomt en richting de buffer komt.

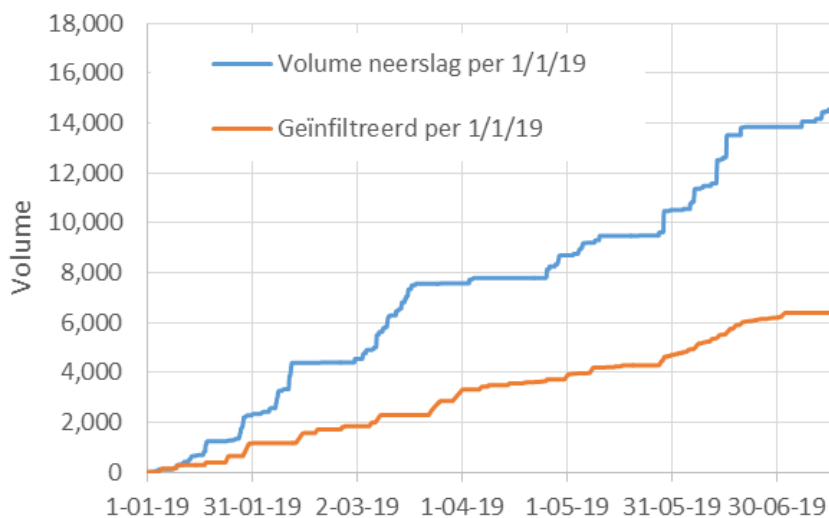


Figuur 5-1: Vulgraad van de buffer als respons op de hoeveelheid neerslag en de hoeveelheid infiltratie naar de ondergrond via beide bronfilters van de UWB.



Figuur 5-2: Invloed van neerslag (boven) en infiltratie (onder) op de vulgraad van de buffer. Op 5-3-2019 en 7-3-2019 vond infiltratie plaats, waardoor de buffer tijdens een periode van neerslag juist leger raakte.

Opvallend is dat wanneer het totale volume hemelwater over het verharde oppervlak in de omgeving (3,7 ha; zonder park aan westzijde, anders zelfs 4,5 ha) wordt beschouwd, er minder dan 50% van het hemelwater de buffer lijkt te halen (Figuur 5-3). Behoudens een hemelwaterverlies door de overstort tussen 15 maart en 22 maart (20 mm neerslag: max. 700 m<sup>3</sup>), verdamping naar de atmosfeer, en vroegtijdige infiltratie van hemelwater vanaf de straat direct naar het freatische grondwater, zou al het hemelwater de buffer moeten bereiken. Mogelijk is echter een (groot deel) van de gebouwen en het veld van Sparta nog niet aangesloten op het regenwaterriool, terwijl dit eerder wel de verwachting was. Dit zou betekenen dat de huidige capaciteit van het OWB-systeem groter is dan nodig is met het oppervlak dat momenteel is aangesloten.



Figuur 5-3: Volume hemelwater dat beschikbaar is vanaf het verharde oppervlak in het gebied (3,7 ha, excl. drains park aan westzijde) en volume hemelwater dat daadwerkelijk beschikbaar is voor infiltratie.

## 5.1.2 Infiltratie en terugwinning

### 5.1.2.1 Geïnfiltreerde en teruggewonnen volumes

De cumulatieve volumes en debieten van water die zijn geïnfiltreerd en onttrokken via de twee bronfilters zijn weergegeven in Figuur 5-4 en Figuur 5-5 en worden in deze sectie nader toegelicht. Deze resultaten zijn tot en met 18 juli 2019.

Op 30 oktober 2018 is begonnen met het infiltreren van hemelwater via de eerste bronfilter. In totaal is 2960 m<sup>3</sup> geïnfiltreerd via dit bronfilter, met name om een initieel volume van zoetwater op te bouwen rondom het bovenste bronfilter. Na de opbouw van dit volume, is in januari 2019 overgeschakeld naar het tweede bronfilter voor infiltratie, en is in totaal 6447 m<sup>3</sup> geïnfiltreerd via dit bronfilter. Het eerste bronfilter fungeert sindsdien met name nog voor onttrekking van het geïnfiltreerde water ten behoeve van de beregening van het voetbalveld van Sparta. Het totale volume dat via het eerste bronfilter is onttrokken bedraagt 2017 m<sup>3</sup>, waarvan de eerste tientallen kubieke meters vooral zijn onttrokken t.b.v. het backflushen van het bronfilter tijdens de infiltratieperioden. Deze backflushes zijn zichtbaar in Figuur 5-5 als de negatieve debieten tijdens infiltratiefases. De 562 m<sup>3</sup> die via bronfilter 2 is onttrokken, is volledig toe te schrijven aan backflushen tijdens infiltratieperioden. Figuur 5-4 (onder) laat zien dat er in juli nog steeds netto meer water naar de ondergrond wordt geïnfiltreerd dan er wordt onttrokken.

De terugwinefficiëntie (RE, Recovery Efficiency) van de UWB kan berekend worden met:

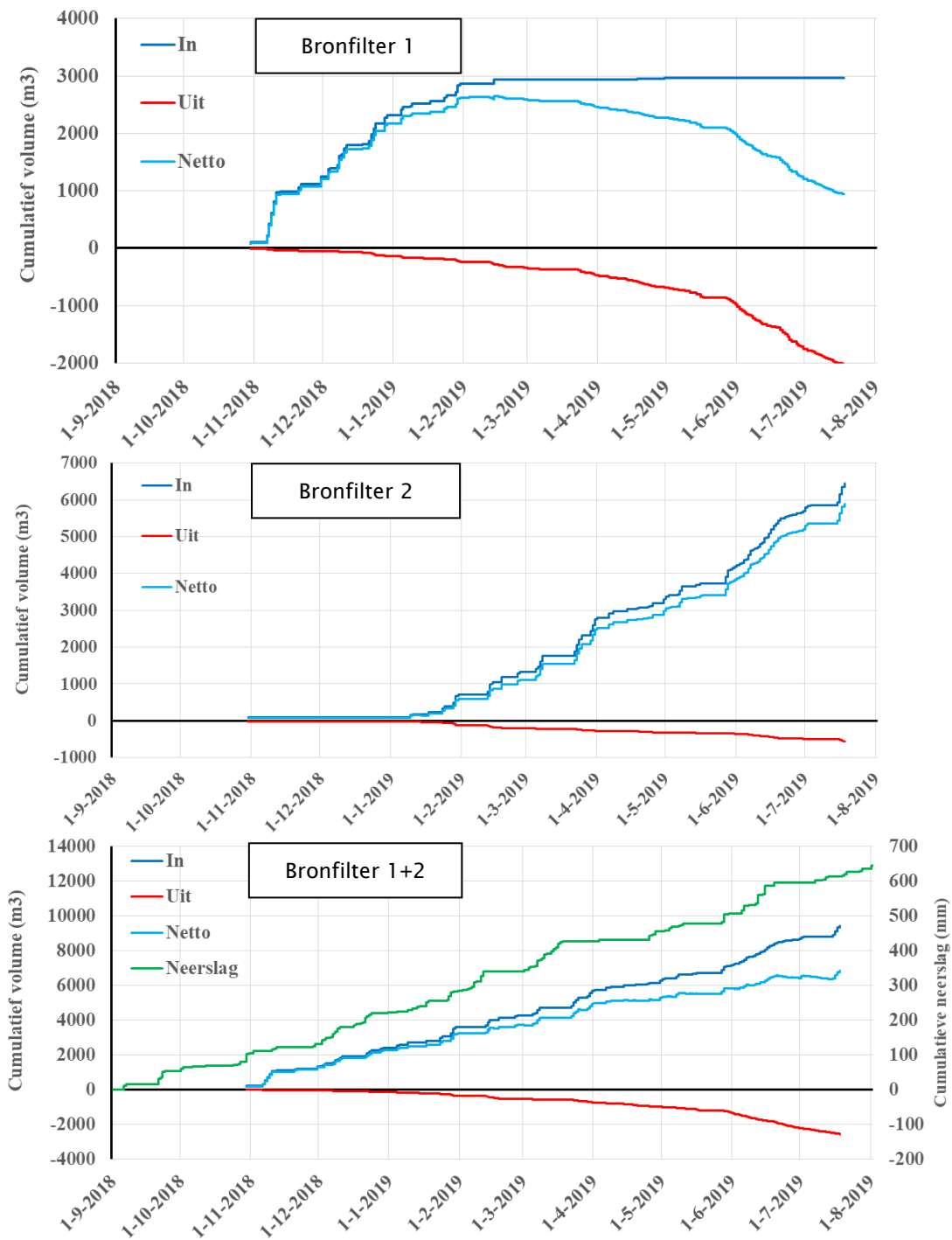
$$RE = \frac{\text{Cumulatief volume onttrekking}}{\text{Cumulatief volume infiltratie}} * 100\%$$

Voor de UWB Spangen is momenteel slechts  $\left(\frac{2579}{9407} * 100 \Rightarrow\right)$  27% van het geïnfiltreerde water teruggewonnen. Deze waarde is niet representatief voor de potentiële terugwinprestatie van de UWB, aangezien eerst een initieel volume van zoetwater moet worden opgebouwd rondom de bronfilters voordat een efficiënte onttrekking plaats kan vinden. Bovendien is de UWB nog geen volledig jaar in bedrijf, waardoor nog geen volledige infiltratie- en onttrekkingscyclus heeft plaatsgevonden. Het volume beschikbare water is dus groter. De meerjarige prestatie van de UWB kan op basis van de modelresultaten worden ingeschat, en wordt in hoofdstuk 6 nader toegelicht.

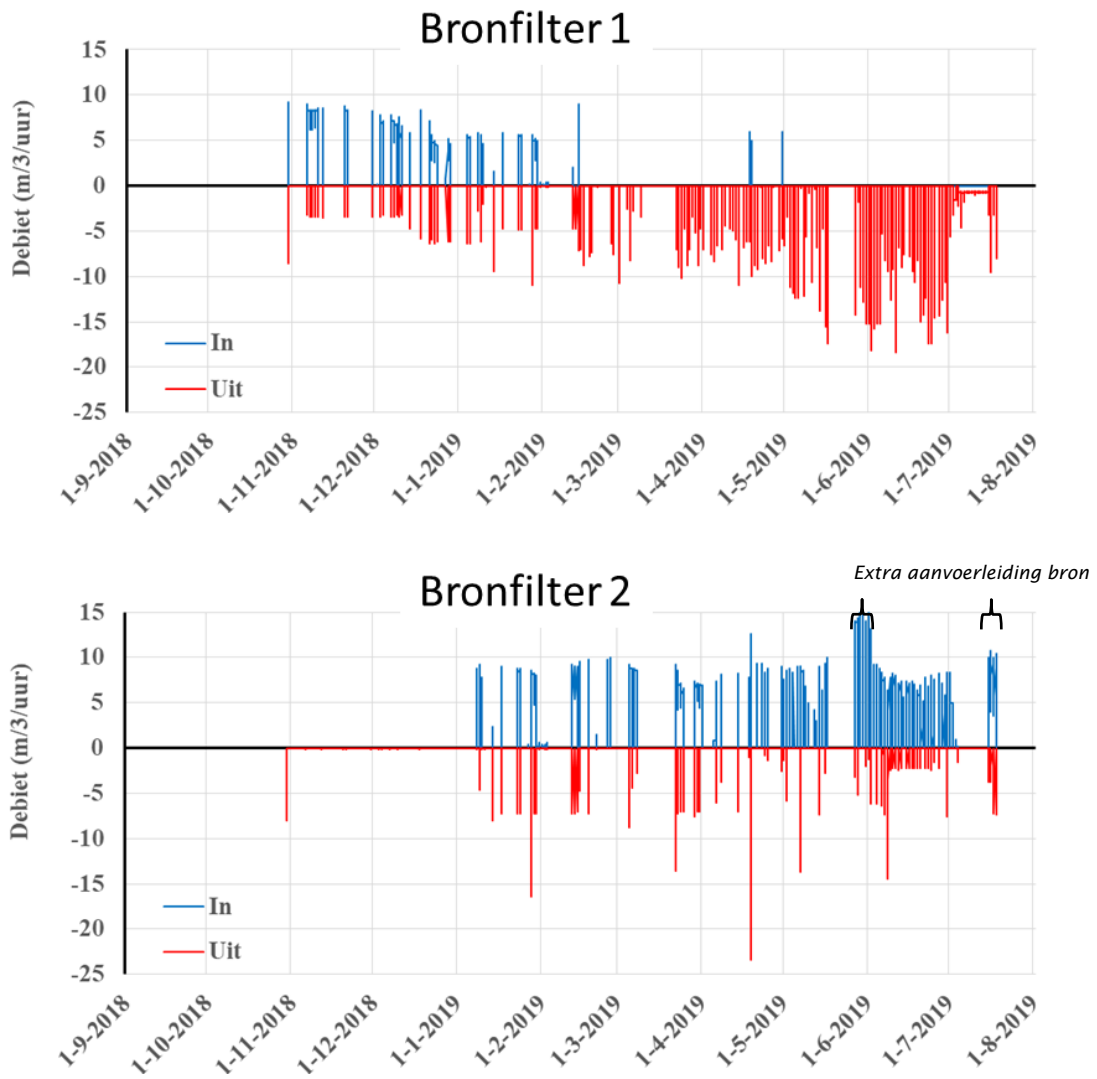
### 5.1.2.2 Waargenomen EC-waarden van infiltratie- en winwater

De EC van het onttrokken water volgt over het algemeen hetzelfde patroon als de EC van het geïnfiltreerde water (Figuur 5-6). De EC in het onttrokken water bij bronfilter 2 is initieel hoger dan bij bronfilter 1, terwijl naar verloop van tijd juist het tegenovergestelde waar is. Dit kan worden verklaard doordat in januari is overgeschakeld op bronfilter 2 voor infiltratie. Vóór deze overschakeling bevat het water rondom bronfilter 1 de minste opgeloste stoffen door infiltratie aldaar, terwijl dit juist het geval is voor bronfilter 2 ná de overschakeling. Door bodempassage wordt het water rijker aan opgeloste stoffen voordat het andere bronfilter bereikt, en is een lichte toename in de EC zichtbaar. Tussen februari en april 2019 zijn driemaal significante verhogingen van de EC waargenomen in water dat is onttrokken via de bronfilter 1. Deze verhogingen waren van erg korte duur en verdere onttrekking zorgde er niet voor dat de EC van het onttrokken water hoog bleef. Vermoedelijk zijn dit meetfouten.

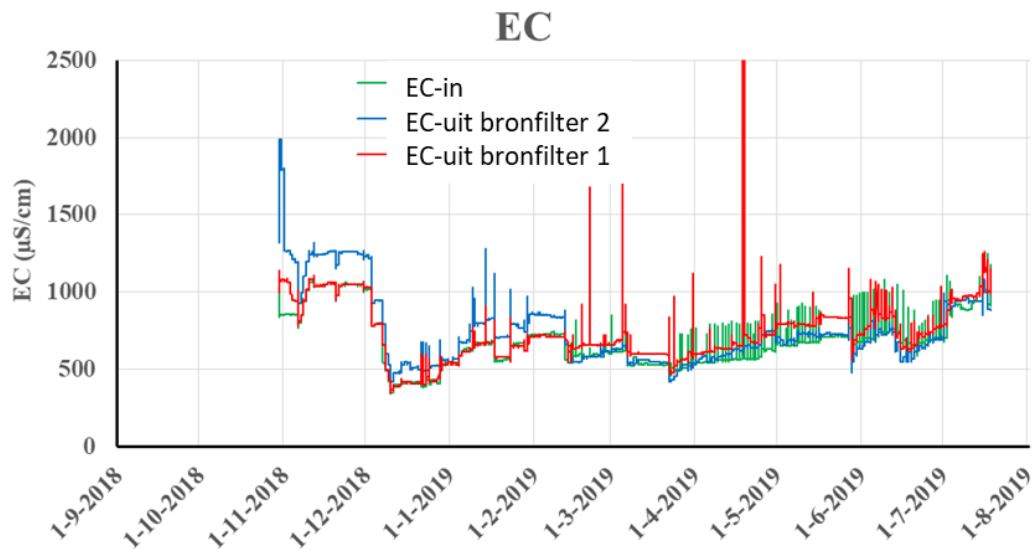
Opvallend is dat de EC van het inkomende water in droge perioden en met name richting de zomerperiode sterk toeneemt tot >1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . In natte perioden daalt de EC tot ca. 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



Figuur 5-4: Cumulatieve volumes van water dat is geïnfiltreerd (donkerblauw) en onttrokken (rood) via bronfilter 1 (boven), bronfilter 2 (midden), en via beide bronfilters bij elkaar (onder). Het cumulatieve netto volume water dat is geïnfiltreerd (infiltratie - onttrekking) en de cumulatieve neerslag (onder: rechter-as) die is gemeten bij Spangen zijn weergegeven in respectievelijk lichtblauw en groen.



Figuur 5-5: Debieten van infiltratie (blauw) en onttrekking (rood) bij bronfilters 1 (boven) en 2 (onder).



Figuur 5-6: EC gemeten bij bronfilter 1 (rood), bij bronfilter 2 (blauw) en in infiltratiewater (groen).

## 5.2 Functioneren voorzuivering en infiltratiewaterkwaliteit

De resultaten van de analyses van het hemelwater vóór en ná het passeren van het zandfilter zijn opgenomen in respectievelijk Bijlage III en Bijlage IV. De gemiddelde zuiverende werking van de voorzuivering is opgenomen in Tabel 5-1. Na Tabel 5-1 volgt een overzicht van de belangrijkste waarnemingen, met daarbij het verloop van de zuivering gedurende de verschillende meetrondes in Figuur 5-7 t/m Figuur 5-12.

Tabel 5-1: Gemiddelde concentraties van de belangrijkste parameters (m.b.t. eisen vanuit vergunning, operationele richtlijnen, of geohydrologische relevantie) vóór en ná het zandfilter voor de 11 meetrondes, en de reductie/verrijking als gevolg van passage zandfilter. Roodgekleurde concentraties overschrijden de infiltratienorm (operationeel/wetgeving). Belangrijke parameters die niet zijn opgenomen in de tabel, zoals As, hebben te weinig bruikbare metingen.

Parameter <sup>1</sup>	Eenheid	Infiltratienorm <sup>w</sup> = wetgeving <sup>o</sup> = operationeel	Gemiddelde kwaliteit		Gemiddelde reductie (-) / verrijking (+)
			Vóór zandfilter	Ná zandfilter	
Som PAK (EPA) <sup>2</sup>	µg/L	-	5,9 <sup>2</sup>	0,24 <sup>2</sup>	- 96 % <sup>2</sup>
Zn <sup>4</sup>	µg/L	65 <sup>w</sup>	131 (157) <sup>4</sup>	46 (38) <sup>4</sup>	- 65 % (-76%) <sup>4</sup>
Fe (totaal) <sup>3</sup>	µg/L	10 <sup>o</sup>	1533 (2025) <sup>3</sup>	584 (177) <sup>3</sup>	- 62 % (-88 %) <sup>3</sup>
Troebelingsgraad	NTU	1 <sup>o</sup>	11,4	4,1	- 59 %
Mn	µg/L	-	479	227	- 53 %
NH <sub>4</sub>	mg/L N	2,5 <sup>w</sup>	1,04	0,52	- 43 %
PO <sub>4</sub>	mg/L P	6,9 <sup>w</sup>	0,18	0,07	- 43 %
Onopgeloste bestanddelen	mg/L	0,1 <sup>o</sup> / 0,5 <sup>w</sup>	5,7	2,7	- 40 %
Ba	µg/L	500 <sup>w</sup>	48	39	- 19 %
DOC	mg/L C	2 <sup>o</sup>	10,2	8,9	- 13 %
AMPA	µg/L	0,1 <sup>w</sup>	0,053	0,047	- 13 %
EC	µS/cm	-	793	699	- 12 %
Mg	mg/L	-	12,3	11,6	- 6 %
HCO <sub>3</sub>	mg/L	-	211	200	- 5 %
Na	mg/L	120 <sup>w</sup>	75	71	- 5 %
O <sub>2</sub>	mg/L	-	2,68	2,61	- 3 %
K	mg/L	-	6,54	6,46	- 1 %
pH	-	-	7,1	7,1	0 %
Ca	mg/L	-	66,6	66,8	0 %
<i>E. coli</i> <sup>5</sup>	cfu/100 mL	-	61,4	61,7	0 % <sup>5</sup>
Cl	mg/L	100 <sup>w</sup>	112	117	+ 4 %
Temperatuur	°C	-	13,6	13,0	+ 5 %
SO <sub>4</sub>	mg/L	-	41,2	44,2	+ 7 %
Kiemen (37 °C) <sup>6</sup>	cfu/mL	-	605	825	+ 36 % <sup>6</sup>
Enterococci <sup>6</sup>	cfu/100 mL	-	25	37	+ 49 % <sup>6</sup>
NO <sub>3</sub>	mg/L N	11,3 <sup>w</sup>	0,16	0,28	+ 77 %

<sup>1</sup> Waarden die zijn gemeten beneden/boven de detectielimiet zijn meegenomen als de detectielimiet. Als zowel de vóór als ná meting een waarde heeft beneden/boven de detectielimiet, zijn beide waarden genegeerd.

<sup>2</sup>Voor SOM PAK (EPA) is enkel ronde 9 meegenomen in de bepaling van de gemiddelde kwaliteit en de reductie.

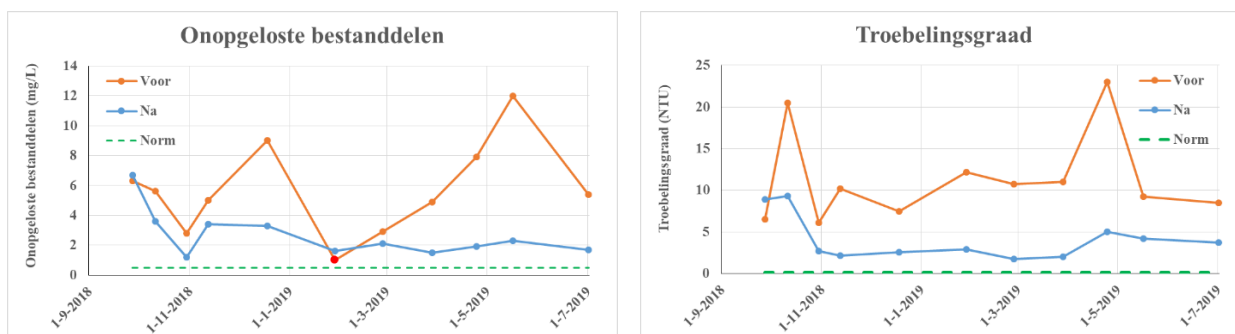
<sup>3</sup>De gemiddelde concentraties en de reductie van Fe (totaal) die zijn waargenomen na toevoeging van de ijzerrijke zandlaag zijn weergegeven tussen haakjes.

<sup>4</sup>De gemiddelde concentraties en de reductie van Zn tijdens meetronde 1 t/m 8 zijn weergegeven tussen haakjes.

<sup>5</sup>Het zandfilter vangt *E. coli*, kiemen (37 °C), en Enterococci tijdens sommige rondes af, terwijl hun concentratie bij andere rondes juist toeneemt.

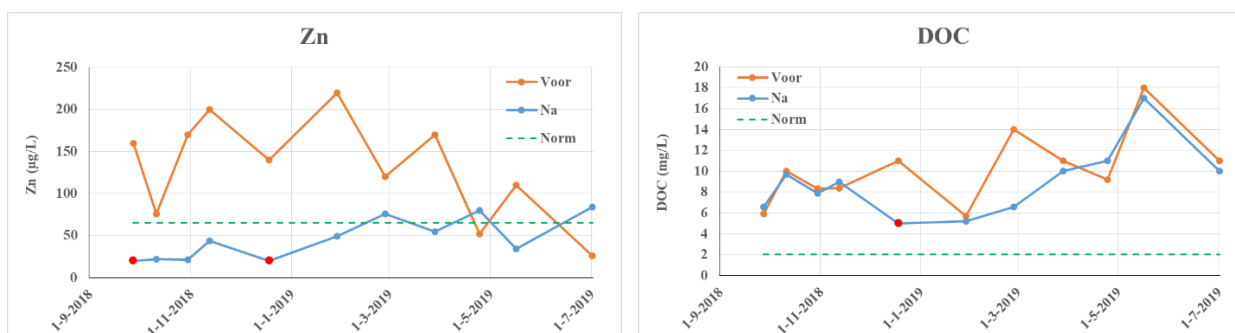
- Concentraties van vrijwel alle stoffen uit het meetplan (sectie 4.1.1) zijn relatief laag in het influent;

- De concentratie van **zwevend stof**, en daardoor ook de troebelheid, in het influent overschrijdt de norm volgens het infiltratiebesluit en de operationele norm (Figuur 5-7). Het filter zorgt voor een significante reductie van onopgeloste bestanddelen. Met name in de latere bemonsteringsrondes reduceert het filter de onopgeloste bestanddelen, wat verklaard kan worden door het ontstaan van een vuillaag bovenop het filter, waardoor de afvang van zwevend stof wordt verbeterd. Het infiltratiewater ná het filter voldoet nog niet aan de normen voor zwevend stof, waardoor een extra zuivering m.b.t. onopgeloste bestanddelen gewenst is;



Figuur 5-7: Concentratie onopgeloste bestanddelen (links) en troebelingsgraad (rechts) in hemelwater vóór het zandfilter (oranje) en ná het zandfilter (blauw). De groene stippellijn is de norm conform de Wet Circulaire Bodemsanering voor diep grondwater (>10 m-mv) of de operationele richtlijn. Het rode punt is een waarde die gemeten is onder de detectielimiet.

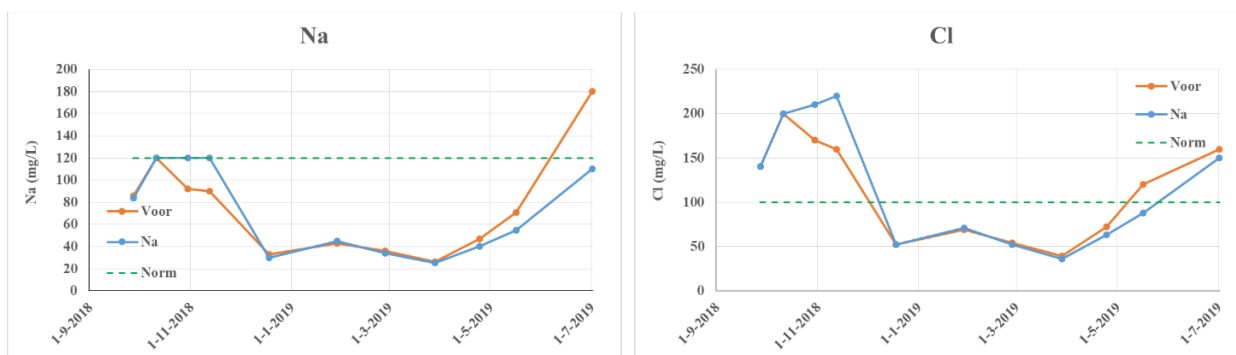
- Zink (Zn)** komt in een te hoge concentratie toestromen in het influent, maar wel gemiddeld genomen voldoende wordt verwijderd door het zandfilter, zelfs als relatief hoge concentratie komen toestromen (Figuur 5-8). Dit komt mede doordat Zn doorgaans grotendeels is geadsorbeerd aan zwevend stof, welke deels worden afgevangen door het filter. Tussen februari en juli is driemaal een verhoogde concentratie van Zn waargenomen in het infiltratiewater ná het filter. Mogelijk komt dit doordat het filter destijds niet regelmatig werd voorzien van vers hemelwater, waardoor het water in het filter stilstond en anoxisch werd, waardoor mobilisatie van Zn plaats kon vinden. Dit verklaart ook de hogere waarde in het effluent ten opzichte van het influent in de laatste meetronde. Sindsdien wordt het filter vaker dagelijks van vers water voorzien via recirculatie.



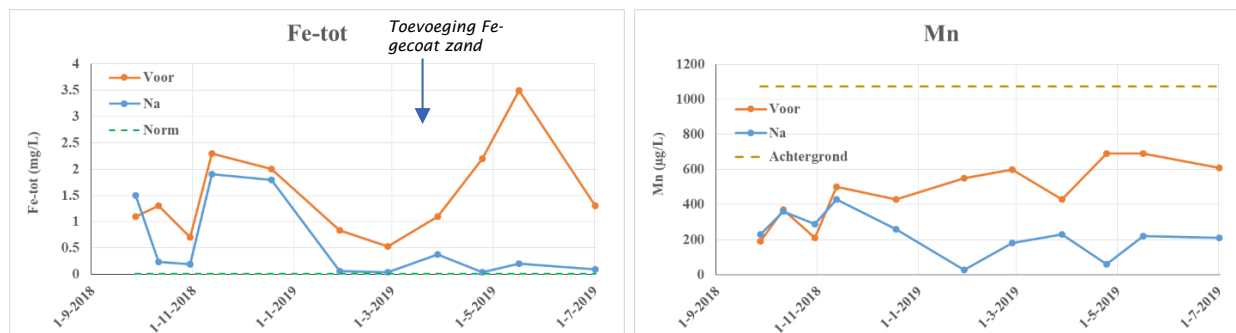
Figuur 5-8: Concentratie zink (links: Zn) en opgelost organisch koolstof (rechts: DOC) in hemelwater vóór het zandfilter (oranje) en ná het zandfilter (blauw). De groene stippellijn is de norm conform de vergunning of de operationele richtlijn. De rode punten zijn waarden die gemeten zijn onder de detectielimiet.



- **Cl** en soms **Na** komen in te hoge concentraties voor in het influent (Figuur 5-9). Dit wordt veroorzaakt door afvoer van ondiep grondwater via het regenwaterriool richting de buffer. Naast de verhoogde concentraties **Cl** en **Na** (Figuur 5-9) kunnen ook de verhoogde concentraties **Fe** en **Mn** (Figuur 5-10), en **NH<sub>4</sub>** (Figuur 5-11) een indicatie zijn voor het instromen van ondiep (freatisch) grondwater richting het gescheiden stelsel, gezien de samenstelling van freatisch grondwater (Bijlage V en Tabel 3-4). Mogelijk is een drain aangesloten op het stelsel of is/zijn er lekkage(s). Ook het feit dat de buffer vaak langzaam voller werd in droge perioden duidt op een dergelijke instroom. **Cl** en **Na** zijn geen milieuvreemde stoffen en concentraties blijven ver onder de waargenomen achtergrondconcentratie in het beoogde watervoerend pakket.



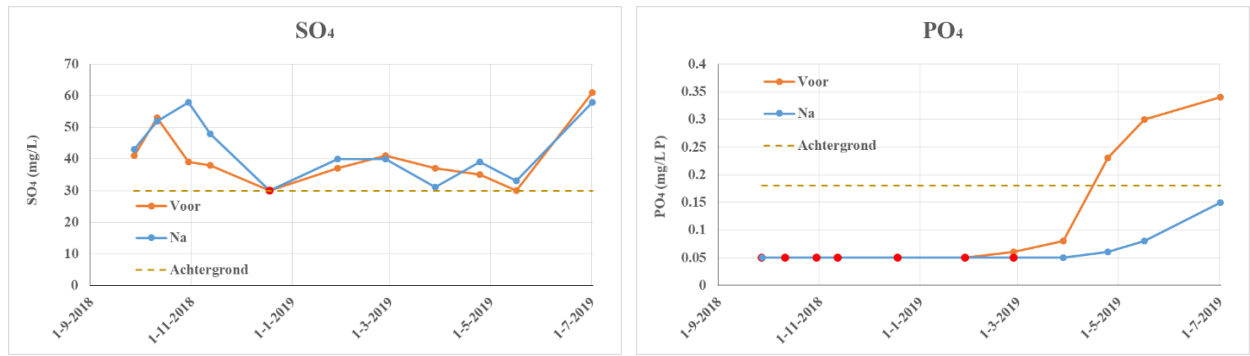
Figuur 5-9: Concentratie natrium (links: Na) en chloride (rechts: Cl) in hemelwater vóór het zandfilter (oranje) en ná het zandfilter (blauw). De groene stippellijn is de norm conform de Wet Circulaire Bodemsanering voor diep grondwater (>10 m-mv).



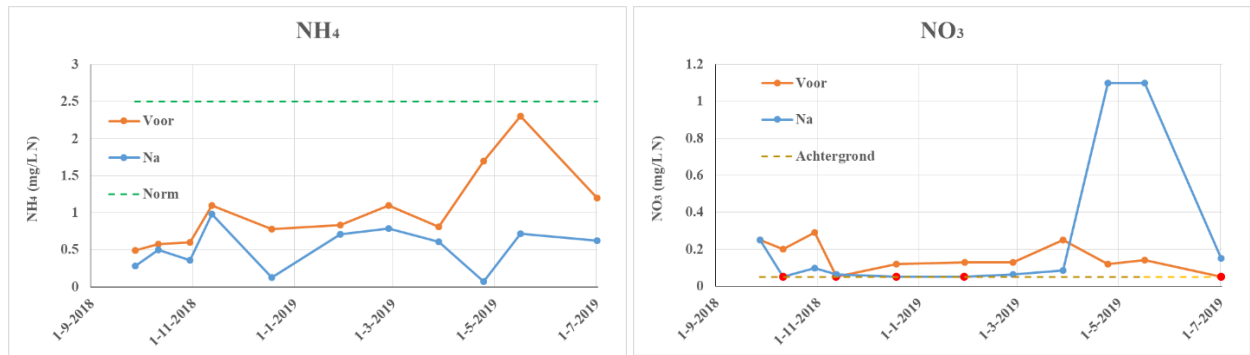
Figuur 5-10: Concentratie ijzer (links: Fe-tot) en mangaan (rechts: Mn) in hemelwater vóór het zandfilter (oranje) en ná het zandfilter (blauw). De groene stippellijn is de operationele richtlijn. De geelbruine stippellijn is de achtergrondconcentratie.

- **Fe** (gemeten als totaal, maar uit analyse blijkt het vrijwel alleen om Fe(II) te gaan) een relatief hoge concentratie in het toestromende water kent en onvoldoende wordt verwijderd door beluchting (zuurstofconcentraties blijven zeer laag in influent en effluent) en filtratie op/in het filter (Figuur 5-10). Gezien de achtergrondwaarden voor Fe in het grondwater is dit geen probleem, maar wel gezien het risico op verstopping van de infiltratieput. Dit geldt ook voor de relatief hoge concentratie van opgelost organisch koolstof (DOC: Figuur 5-8). De verwijdering van Fe is sterk verbeterd sinds meetronde 9 (24 april 2019), wat te verklaren is door het toepassen van een ijzergecoat zand (d.d. 19 april 2019), waardoor het adsorptievermogen van het Bluebloqs filter sterk is verhoogd;

- Tijdens de latere bemonsteringsrondes zijn een hoge **troebelingsgraad** en een hoge concentratie **PO<sub>4</sub>** en onopgeloste bestanddelen waargenomen in het hemelwater vóór het filter. Dit is mogelijk het resultaat van een eerste flush met vuil van de straat bij nat weer na langere droogte. Daar waar bij droog weer veel lekwater (ondiep freatisch grondwater) het hemelwaterstelsel in komt, komt bij nat weer juist deze eerste flush met vuil van de straat het hemelwaterstelsel in. PO<sub>4</sub> wordt voldoende verwijderd door het filter maar de concentratie in water ná het filter neemt wel toe met de tijd;
- In enkele bemonsteringsrondes zijn verhoogde concentraties van **nikkel (Ni)** en **arseen (As)** zichtbaar in het infiltratiewater na passeren van het zandfilter. Deze concentraties overschrijden echter niet de normen of achtergrondconcentraties. Voor **tolueen** en **molybdeen** is dit het geval in het hemelwater vóór het zandfilter.
- **Xylenen** en **AMPA** overschrijden in hemelwater een enkele maal de norm van het infiltratiebesluit, maar worden voldoende verwijderd door het zandfilter.
- **Naftaleen** overschrijdt in ronde 8 de norm van het infiltratiebesluit en wordt tevens niet (voldoende) verwijderd door het zandfilter. Verschillende **PAK's**, waaronder naftaleen, zijn in ronde 9 met verhoogde concentraties aangetrokken omdat de buffer bijna leeg was en ook slib, waar PAK's aan hechten, van de bodem is aangetrokken. Alle gemeten PAK's worden voldoende verwijderd door het zandfilter. Wel is besloten om de buffer niet meer zover leeg te trekken. De laatste 2% blijft voortaan in de buffer achter, waardoor ook de buffercapaciteit bij piekbuien niet significant afneemt.
- In enkele bemonsteringsrondes overschrijden **molybdeen, koper, en kwik** de norm van het infiltratiebesluit in het infiltratiewater na passeren van het zandfilter, terwijl de concentraties vóór het zandfilter onder deze normen bleven. De oorzaak hiervoor is nog onduidelijk, en betreft voor molybdeen mogelijk een uitschieter, gezien de zeer hoge waarde ten opzichte van de overige metingen.
- **Nitraat, sulfaat, en fosfaat** komen in lage concentraties voor (Figuur 5-12 en Figuur 5-11). Nitraat is tijdens de laatste bemonsteringsrondes sterk toegenomen, wat kan zijn veroorzaakt door steeds betere nitrificatie van ammonium in toestromend water.
- **Microbiologische indicatoren**: verder uitgewerkt in paragraaf 5.5.2.



Figuur 5-11: Concentratie sulfaat (links: SO<sub>4</sub>) en fosfaat (rechts: PO<sub>4</sub>) in hemelwater vóór het zandfilter (oranje) en ná het zandfilter (blauw). De geelbruine stippellijn is de achtergrondconcentratie. De rode punten zijn waarden die gemeten zijn onder de detectielimiet.



Figuur 5-12: Concentratie ammonium (links: NH<sub>4</sub>) en nitraat (rechts: NO<sub>3</sub>) in hemelwater vóór het zandfilter (oranje) en ná het zandfilter (blauw). De groene stippellijn is de norm conform de Wet Circulaire Bodemsanering voor diep grondwater (>10 m-mv) en de geelbruine stippellijn is de achtergrondconcentratie. De rode punten zijn waarden die gemeten zijn onder de detectielimiet.

### 5.3 Functioneren infiltratie- en onttrekkingsysteem

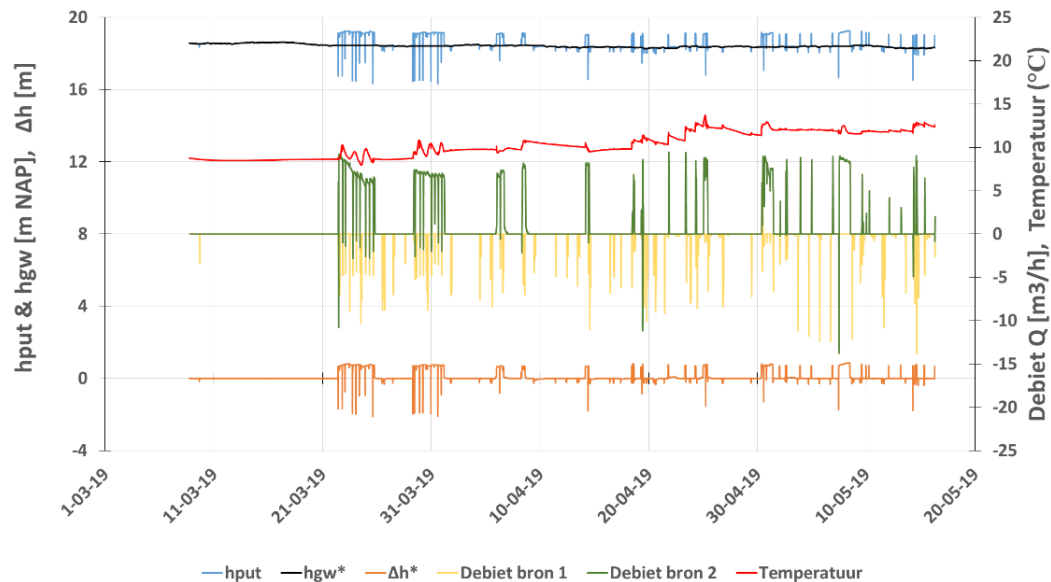
#### 5.3.1 Infiltratieweerstand

Sinds januari 2019 vindt infiltratie via het tweede bronfilter plaats. Het verloop van de infiltratieweerstand met de tijd geeft een goede indicatie van de prestatie van de infiltratiebron. De infiltratieweerstand wordt berekend met het infiltratiedebiet ( $Q$ ), de infiltratiedruk ( $\Delta h$ ) en de temperatuur van het infiltratiewater ( $T$ ):

$$\text{Infiltratieweerstand} = \frac{(\Delta h)}{Q} * \frac{T + 20}{30}$$

De absolute infiltratiedruk is gelijk aan de stijghoogte van water in de put ( $h_{\text{put}}$ ) minus de stijghoogte van het grondwater in het betreffende watervoerende pakket ( $h_{\text{gw}}$ ).

Voor de periode tussen 21-3-2019 en 15-5-2019 zijn de meetreeksen van het infiltratiedebiet, van de temperatuur, en van de stijghoogte in de omstorting van het tweede bronfilter (Figuur 5-13) gebruikt om de infiltratieweerstand te bepalen (Figuur 5-14).



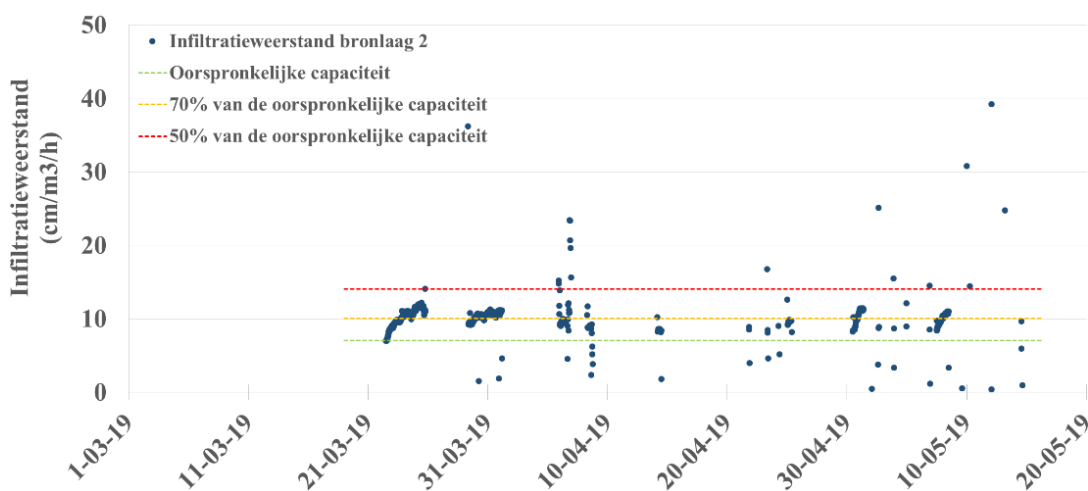
Figuur 5-13: Meetreeksen van de stijghoogte in de put ( $h_{\text{put}}$ : blauw), de geïnterpreteerde natuurlijke stijghoogtevariatie van het grondwater in het watervoerend pakket ( $h_{\text{gw}}^*$ : zwart), de absolute infiltratiedruk ( $\Delta h^* = h_{\text{put}} - h_{\text{gw}}^*$ : oranje), het onttrekkingsdebiet via bronfilter 1 (geel), het infiltratie- en backflushdebiet via bronfilter 2 (groen), en de temperatuur van water bij bronfilter 2 (rood).

Uit verschillende infiltratiefases wordt duidelijk dat de infiltratieweerstand toeneemt met de tijd en vervolgens afvlakt tot een maximale waarde van ca. 12 cm/m<sup>3</sup>/h (Figuur 5-14 en Figuur 5-15). Elastische berging kan hierbij een rol spelen: door de verhoogde druk tijdens infiltratie zet het zandskelet van het watervoerend pakket uit. Daardoor kan gedurende de eerste uren na de start van de injectie een verhoogde injectiecapaciteit worden gehanteerd, die tot enkele tientallen procenten hoger is dan de capaciteit zonder elastische berging (STOWA, 2016), maar vervolgens al snel weer afneemt. Gezien het verloop en de relatief lange duur waarover de toename van de infiltratieweerstand, en dus de afname van de infiltratiecapaciteit, plaatsvindt (dagen), is elasticiteit niet de enige oorzaak van het teruglopende debiet. Dit speelt vooral een rol in de eerste uren na het opstarten van de infiltratie, maar daarna wordt een stationaire situatie bereikt.

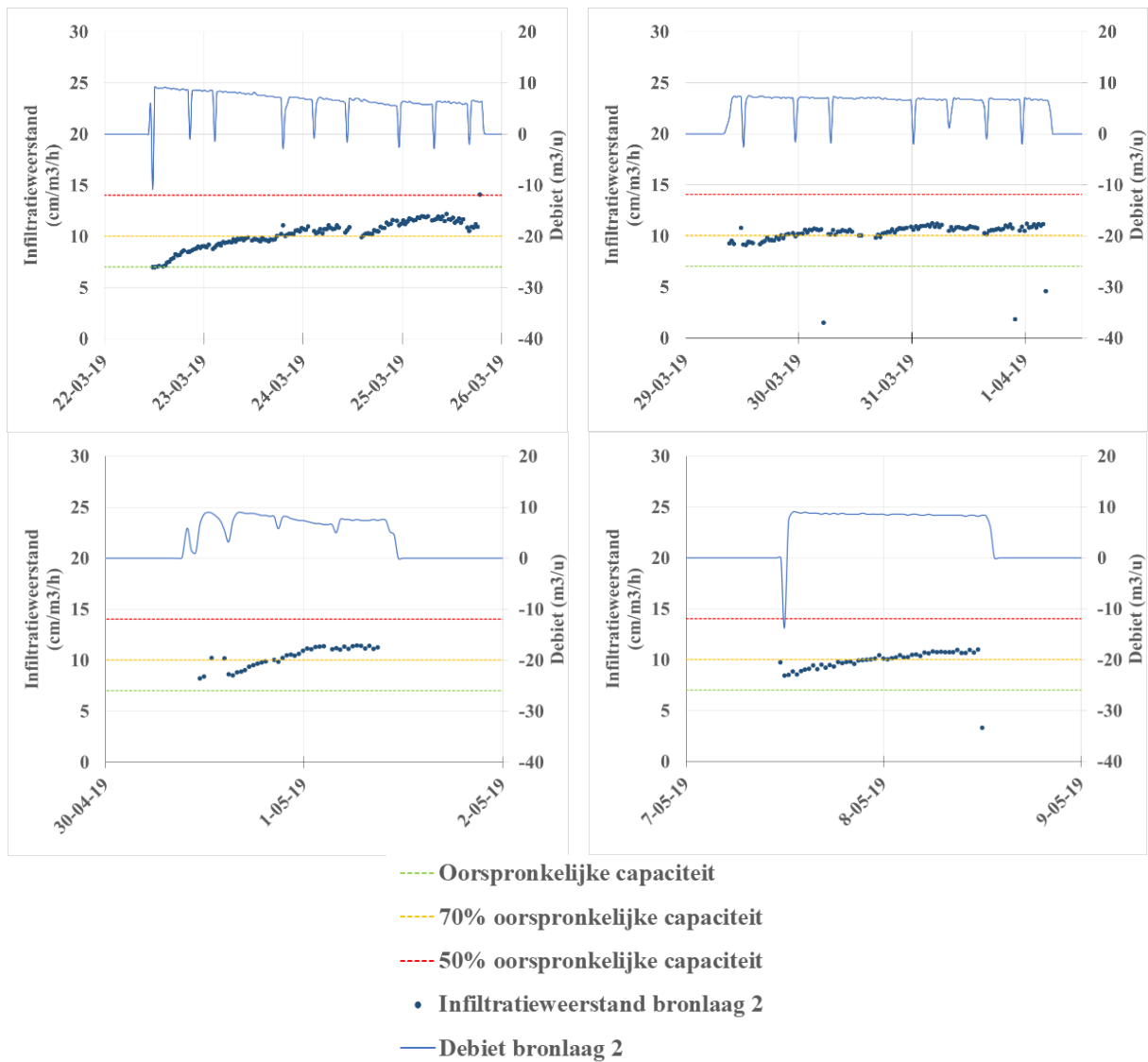
Omdat het effect van elastische berging op de langere termijn te verwaarlozen is, duidt toename van de infiltratieweerstand op putverstopping. Hiervoor zijn de volgende mogelijke oorzaken verkend:

- Luchtinsluiting is een mogelijke verklaring voor het optreden van putverstopping (Figuur 5-16);
  - Installatietechnisch lijken er echter weinig routes aanwezig te zijn voor toetreding van grote volumes lucht;
  - Verstopping door lucht kent doorgaans een sterke toename van de infiltratieweerstand bij aanvang van de infiltratie. Bij de UWB Spangen lijkt er echter eerst een fase te zijn met een stabiele lage infiltratieweerstand, dan een toename, en daarna een afvlakking of zelfs afname van de infiltratieweerstand
- Ook microbiologische verstopping behoort nog tot de mogelijkheden, waarbij de beschikbaarheid van voedingsstoffen en zuurstof limiterend is (Figuur 5-16). De oorzaak hiervan kan de relatief hoge concentratie van DOC en de (geringe) aanwezigheid van N, P, Fe en zuurstof in het infiltratiewater zijn.
  - De waargenomen trends in de infiltratieweerstand lijken deze oorzaak te bevestigen: stabiele lage infiltratieweerstand, gevolgd door toename, en daarna een afvlakking of zelfs afname van de infiltratieweerstand
  - De afname in infiltratieweerstand blijft niet toenemen, zoals bij voldoende beschikbaarheid van voedingsstoffen.
- Verstopping door deeltjes lijkt niet het geval te zijn, gezien de waargenomen significante afname van de infiltratieweerstand bij stilstand van de bron. Bij deeltjesverstopping ontstaat een cake van vaste deeltjes die continu dikker wordt en dus een doorlopende toename in infiltratieweerstand veroorzaakt.

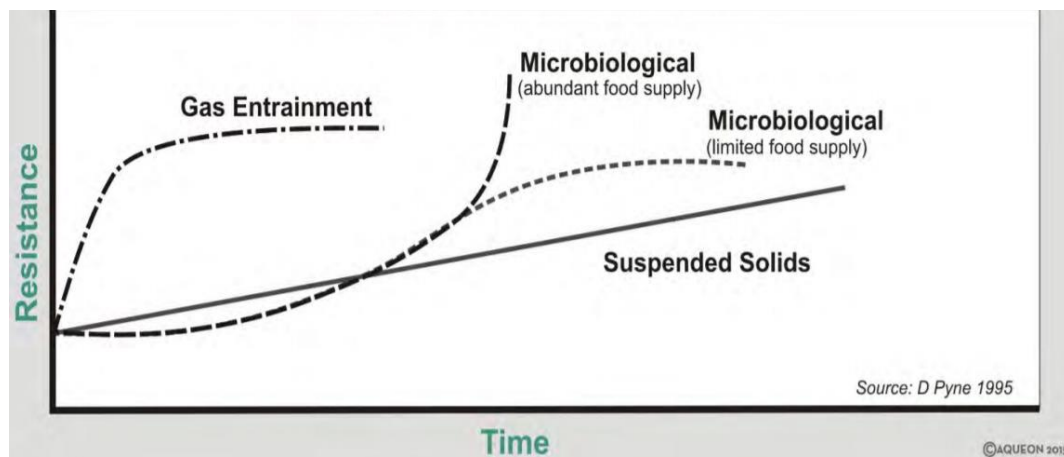
De infiltratieweerstand herstelt zich in de meetperiode wel zodra de infiltratie stopt, maar niet geheel tot de oorspronkelijke infiltratieweerstand van de eerste infiltratiefase. Als gevolg hiervan is het maximale infiltratiedebiet gedurende het jaar langzaam aan het afnemen.



Figuur 5-14: De infiltratieweerstand die is berekend met  $\Delta h^*$  ( $=h_{\text{put}}-h_{\text{gw}}^*$ ) en het infiltratiedebiet van bronfilter 2, voor perioden wanneer enkel het tweede bronfilter in bedrijf was.



Figuur 5-15: Infiltratiedebiet en -weerstand gedurende vier infiltratiefases.



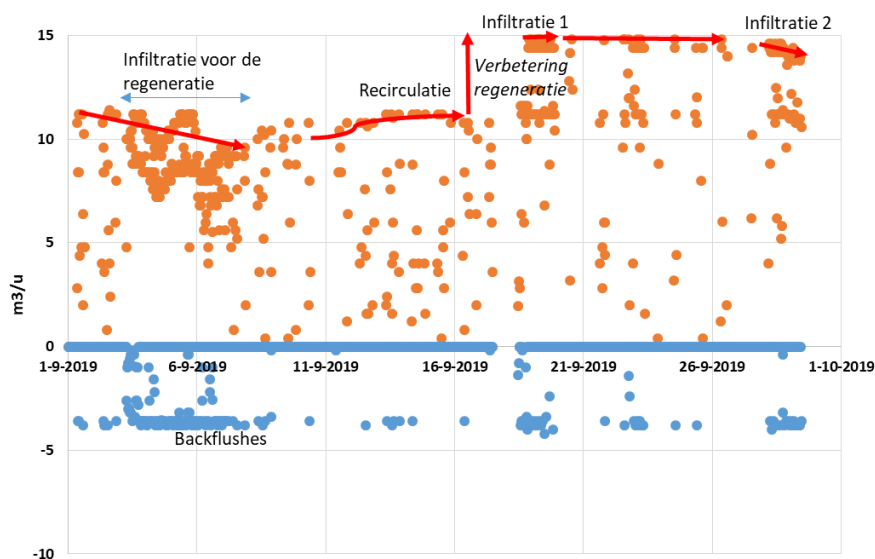
Figuur 5-16: Verloop van infiltratieweerstand bij verschillende vormen van putverstopping (Pyne, 1995).

### 5.3.2 Resultaat regeneratie met Na-hypochloriet

Op 18 september is in totaal 120 L Na-hypochloriet (15%) toegevoegd aan 5.2 m<sup>3</sup> infiltratiewater, resulterend in een Na-hypochlorietconcentratie van ca. 3.4 g/l (EC was ca. 10 mS/cm). Dit is in 2 rondes gedoseerd na grondige opmenging via recirculatie over de voordrukbuus en Drainput 2. In de eerste ronde is alleen op bronfilter 2 geïnfiltreerd, in de tweede ronde op beide lagen. Hierna is nog eens 2.5 m<sup>3</sup> schoonwater geïnfiltreerd om de na-hypochloriet verder te duwen richting de bronfilters.

Op 19 september (ca. 20 uur later) is eerst 9 m<sup>3</sup> onttrokken uit bronfilter 1, en daarna 20.5 m<sup>3</sup> uit bronfilter 2. Bij bronfilter 2 is daarbij het water bemonsterd en geanalyseerd op de TU Delft. Het water is geloosd op het vuilwaterriool. Het onttrokken water is sterk bruin gekleurd, maar toont geen zwevende delen.

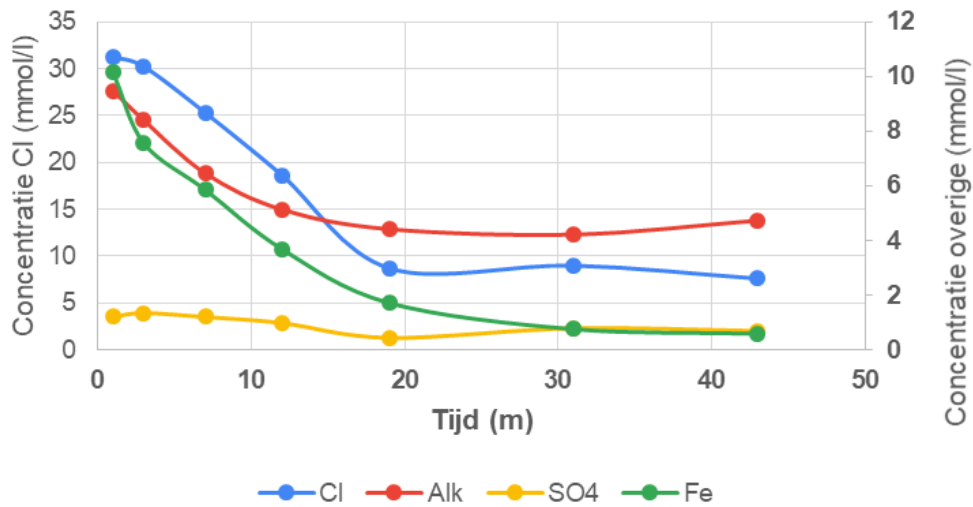
Na de regeneratie is het debiet hersteld tot bijna 15 m<sup>3</sup>/u (Figuur 5-17), vrijwel gelijk aan het initiële debiet na de laatste aanpassingen aan de infiltratieleiding (mei 2019). De regeneratie is dus behoorlijk effectief, hetgeen aantoont dat de vervuiling met name bestaat uit biologische vervuiling (groei biologisch materiaal in/rondom de bronfilters). Duidelijk is ook de verstopping geleidelijk weer terugkeert, zoals te zien is bij het tweede moment met infiltratie na de regeneratie (eind september; Figuur 5-17). Dit betekent dus ook dat de capaciteit van de infiltratiebron na verloop van tijd weer zal verslechteren door biologische verstopping. Herhaling van de behandeling (of betere verlaging van de groeipotentie) is noodzakelijk.



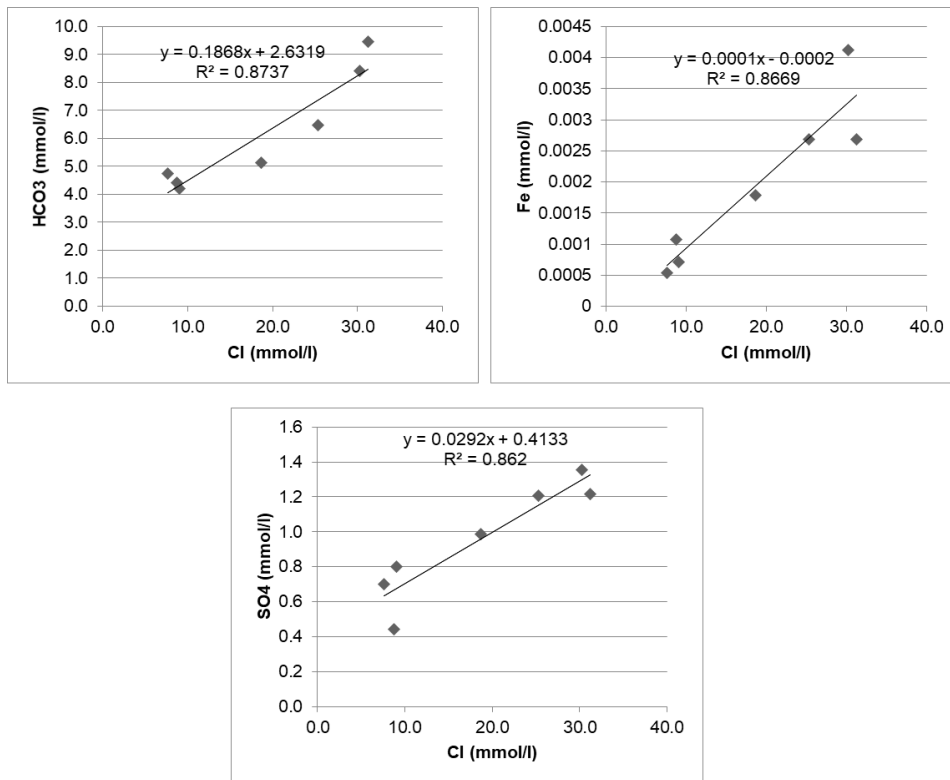
Figuur 5-17: Infiltratiedebiet van bronfilter 2 (oranje) bij constante infiltratiedruk vóór en ná de regeneratie. De backflushes (negatieve debieten) zijn weergegeven in blauw.

Op basis van de kwaliteit van het teruggepompte water (Figuur 5-18, Figuur 5-19) kan worden geconcludeerd dat (Tabel 5-2):

- Ca. 20-23% van het Na-hypochloriet is verbruikt om FeS en FeS<sub>2</sub> te oxideren in de omgeving van de bronfilters, waarschijnlijk van nature daar aanwezig.
- Enkele procenten zijn verbruikt om Fe(OH)<sub>3</sub> te vormen rondom de bronfilters.
- De bulk (de resterende ca. driekwart) van het Na-hypochloriet is echter verbruikt om organische stof te oxideren naar HCO<sub>3</sub>. Er kan daarom worden aangenomen dat er door inzet van Na-hypochloriet vooral organische vervuiling is verwijderd. Dit bevestigt het vermoeden dat er vooral biologische putverstopping plaatsvindt.



Figuur 5-18: Verloop van de waterkwaliteit bij terugpompen van Na-hypochloriet.



Figuur 5-19: Molverhouding tussen Cl en HCO<sub>3</sub>, Cl en SO<sub>4</sub> en Cl en Fe.

Tabel 5-2: Herleidde omzetting door inzet Na-hypochloriet op basis Van Beek en Kooper (1980)

Proces	Helling	Molverhouding	% van de
Oxidatie sulfide tot SO <sub>4</sub>	0,029	0,143 tot 0,125	20-23%
Fe(II) naar Fe(III)*	0,0001	1:1	1.5-2.9%
Org. stof naar HCO <sub>3</sub>	0,19	1:4	75%

\*Na bepalen theoretische  $\Delta Fe_{tot} / \Delta Cl$  op basis  $\Delta SO_4 / \Delta Cl$ . Hiervan wordt de waargenomen  $\Delta Fe(II) / \Delta Cl$  afgetrokken. Het restant is vastgelegd als Fe(OH)<sub>3</sub>.



## 5.4 Effecten op de omgeving

### 5.4.1 Grondwaterkwaliteit

De resultaten van de grondwaterkwaliteitsbemonsteringen bij de bronfilters en bij de verschillende peilbuisfilters van PB1 zijn weergegeven in Bijlage V. De belangrijkste resultaten zijn daarnaast opgenomen in Figuur 5-20 en Figuur 5-21.

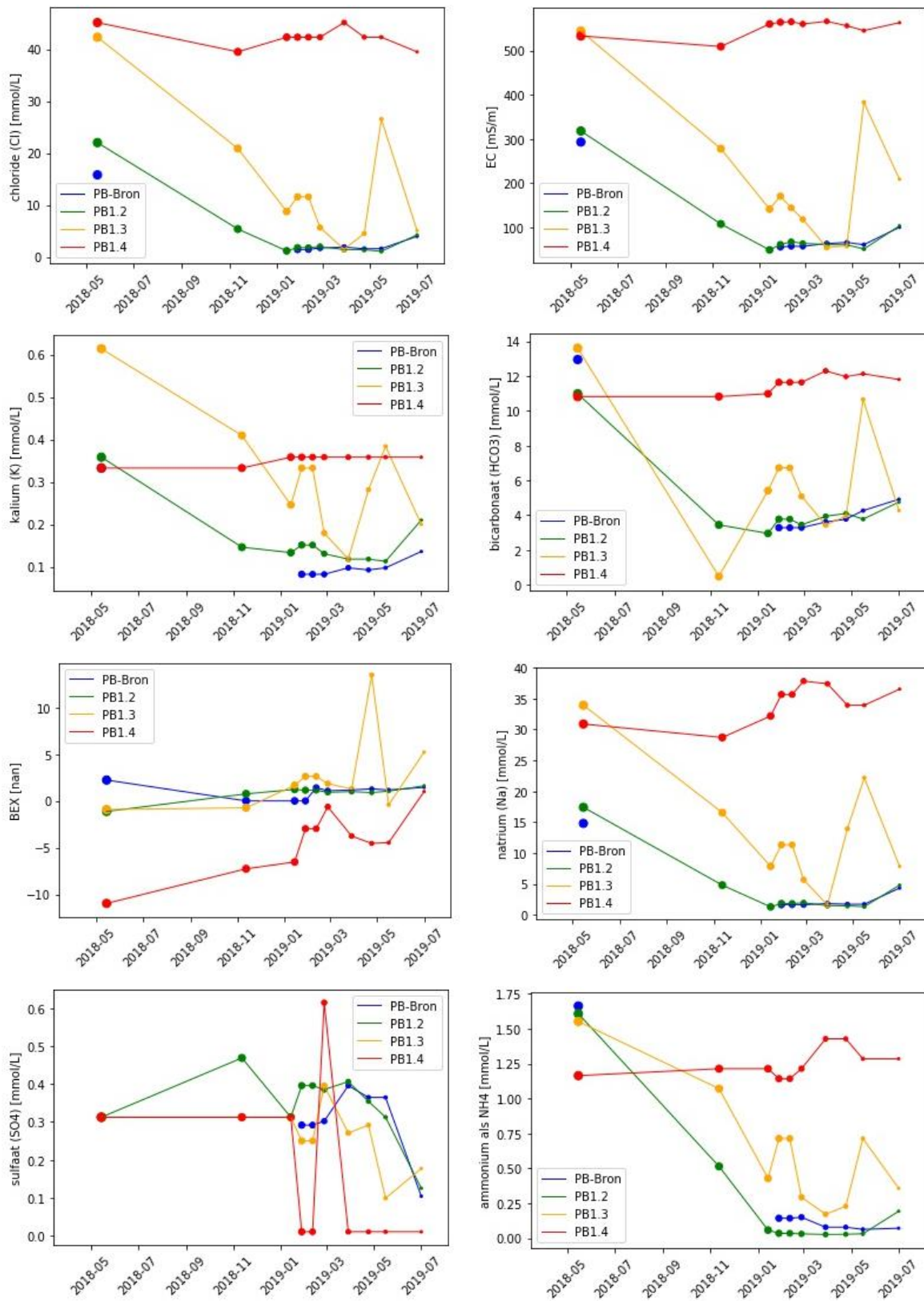
Bij de eerste bemonsteringsronde na start van de infiltratie (bemonstering op 12-11-2018) was in totaal netto ca. 1000 m<sup>3</sup> geïnfilteerd sinds 30-10-2018. Met een dikte van het watervoerend pakket van 10,5 m en een porositeit van 0.3, zou het infiltratiewater dan reeds een straal van ca. 10 meter en dus het peilbuisnest ruimschoots hebben bereikt. Het bodemvolume tussen het OWB-systeem en de peilbuis is hierbij theoretisch 2x doorspoeld. De peilbuisfilters zijn met name ondiep sterk verzoet vergeleken met de referentiesituatie die is weergegeven in Tabel 3-4, maar toch is er nog duidelijk vermenging met het brakke water.

Doordat alleen bovenin werd geïnfilteerd en opdrijving plaatsvindt in het brakke pakket, is het diepste filter nauwelijks verzoet, ook niet na infiltratie van meer hemelwater. Dit patroon is te verwachten in dit watervoerende pakket: het infiltratiewater is relatief licht ten opzichte van het brakke grondwater. Het infiltratiewater stroomt daardoor langzaam omhoog, met name in diepere (zoutere) delen het watervoerende pakket. Modelleringsresultaten laten zien dat er desondanks nog altijd 70% winbaar blijft (zie paragraaf 6.2)

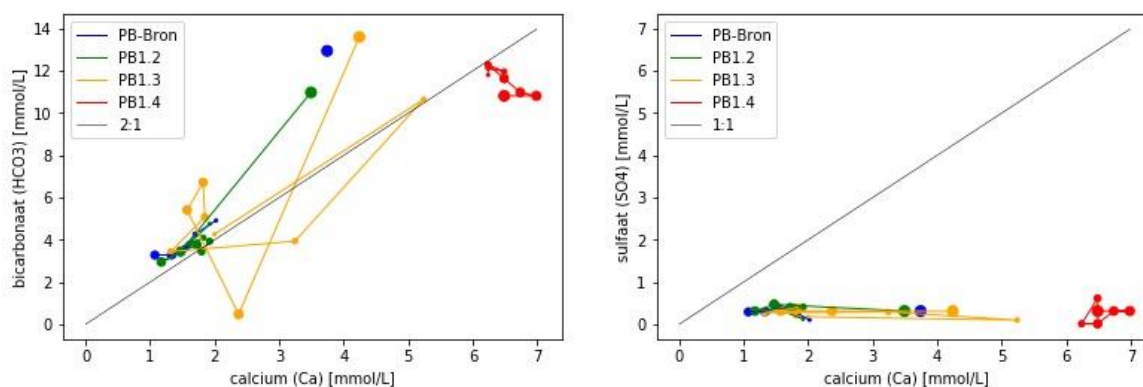
De gemiddelde samenstelling van het grondwater ter hoogte van PB1.2 tijdens bemonsteringsrondes 8, 9, en 10 (29/3/19, 24/4/19, en 16/5/19) is weergegeven in Tabel 5-3. en wordt verondersteld als representatief voor de kwaliteit die het afstromende hemelwater aldaar op lange termijn zal aannemen. De bedrijfsvoering heeft enkel voor een toename van pH gezorgd en dit vormt geen bedreiging voor de grondwaterkwaliteit. De temperatuur blijft daarnaast vrijwel constant. Alleen SO<sub>4</sub> neemt toe tot ruim 30 mg/l, maar blijft daarmee bijvoorbeeld ruim onder de drinkwaternorm van 150 mg/l. De concentraties van alle overige parameters nemen allen met >49% af t.o.v. de referentiesamenstelling van het grondwater. Op basis van deze gegevens heeft de UWB dus een zeer positieve invloed op de samenstelling van grondwater in het eerste watervoerende pakket.

De metingen die zijn gedaan tijdens de bedrijfsvoering van de UWB vertonen grofweg een HCO<sub>3</sub>:Ca-verhouding van 2:1 (Figuur 5-21). Dit betekent dat de grondwaterkwaliteit tijdens bedrijfsvoering wordt beïnvloed door kalkoplossing/kalkneerslag ( $CaCO_3 + H_2CO_3 \leftrightarrow Ca^{2+} + 2 HCO_3^-$ ).

Uit eerdere studies is gebleken dat oxidatie van pyriet op kan treden tijdens infiltratie van zuurstofrijk water in pyriethoudende watervoerende pakketten. Hierbij komt o.a. zuur en SO<sub>4</sub> vrij. De metingen laten geen significante toename van SO<sub>4</sub> zien (de gemiddelde concentratie in de laatste 3 rondes is vrijwel gelijk aan de infiltratieconcentratie in de 3 voorgaande rondes). Bovendien zou de bijbehorende zuurproductie worden gebufferd door het kalkevenwicht, en zou de verhouding SO<sub>4</sub>:Ca in grondwater een waarde van 1:1 bedragen ( $4 FeS_2 + 15O_2 + 6H_2O + 8CaCO_3 \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 8SO_4^{2-} + 8Ca^{2+} + 8CO_2$ ). Dit blijkt niet uit de metingen, waardoor kan worden geconcludeerd dat pyrietoxidatie in ieder geval geen dominant proces is tijdens de bedrijfsvoering van de UWB (Figuur 5-21). Dit wordt mogelijk niet alleen verklaard door de geringe aanwezigheid van FeS<sub>2</sub> (op basis van gehalte S: Tabel 3-2), maar ook door de lage concentraties zuurstof en NO<sub>3</sub> in het infiltratiewater.



Figuur 5-20: Ontwikkeling van de chemische grondwaterkwaliteit ter hoogte van de bron (PB-Bron: blauw) en de drie filters uit het peilbuisnest (PB1.2: groen, PB1.3: geel, en PB1.4: rood) met de tijd (groot → klein symbool).



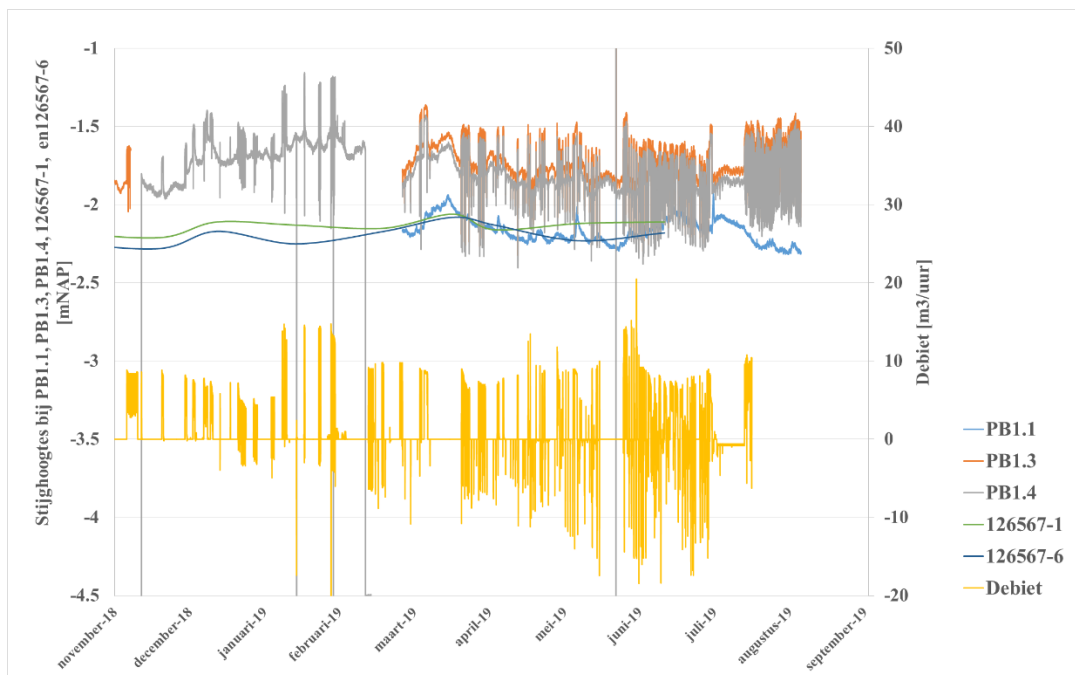
Figuur 5-21: Ontwikkeling van de verhouding tussen chemische indicatoren in het grondwater ter hoogte van de bron (PB-Bron: blauw) en de drie filters uit het peilbuisnest (PB1.2: groen, PB1.3: geel, en PB1.4: rood) met de tijd (groot → klein symbool).

Tabel 5-3: Grondwaterkwaliteitsverandering ter plaatse van PB1.2 (diepte = 20-21 m-mv).

Parameter	Datum	Eenheid	Oorspronkelijke	Kwaliteit na	Toename (+) / Afname (-) in %
			grondwaterkwaliteit	bodempassage	
		dd/mm/jj	15/5/18	24/4/19 – 1/7/19	
<b>Veldmetingen</b>					
pH		-	6,7	7,3	+9
Temperatuur (pH)		°C	13,7	12,3	-10
EC		mS/m	318	58	-81
<b>Labmetingen</b>					
pH		-	6,7	-	
Temperatuur		°C	17	-	
EC		mS/m	313	-	
calcium (Ca)		mg/l	140	71	-49
ijzer (Fe)		µg/l	11000	1600	-85
kalium (K)		mg/l	14	4,5	-68
magnesium (Mg)		mg/l	57	10,1	-82
mangaan (Mn)		µg/l	1200	230	-81
natrium (Na)		mg/l	400	32,3	-92
ammonium als N		mg N/l	23	0,4	-98
ammonium als NH <sub>4</sub>		mg NH <sub>4</sub> /l	29	0,5	-98
opgelost fosfaat als P		mg P/l	0,06	<0,05	-
opgelost fosfaat als PO <sub>4</sub>		mg PO <sub>4</sub> /l	0,18	<0,15	-
nitraat als N		mg N/l	< 0,05	<0,05	-
bicarbonaat (HCO <sub>3</sub> )		mg/l	670	240	-64
chloride (Cl)		mg/l	780	45,7	-94
sulfaat (SO <sub>4</sub> )		mg/l	< 1	34,3	>300%
totale hardheid		meq/l	12	4,4	-63

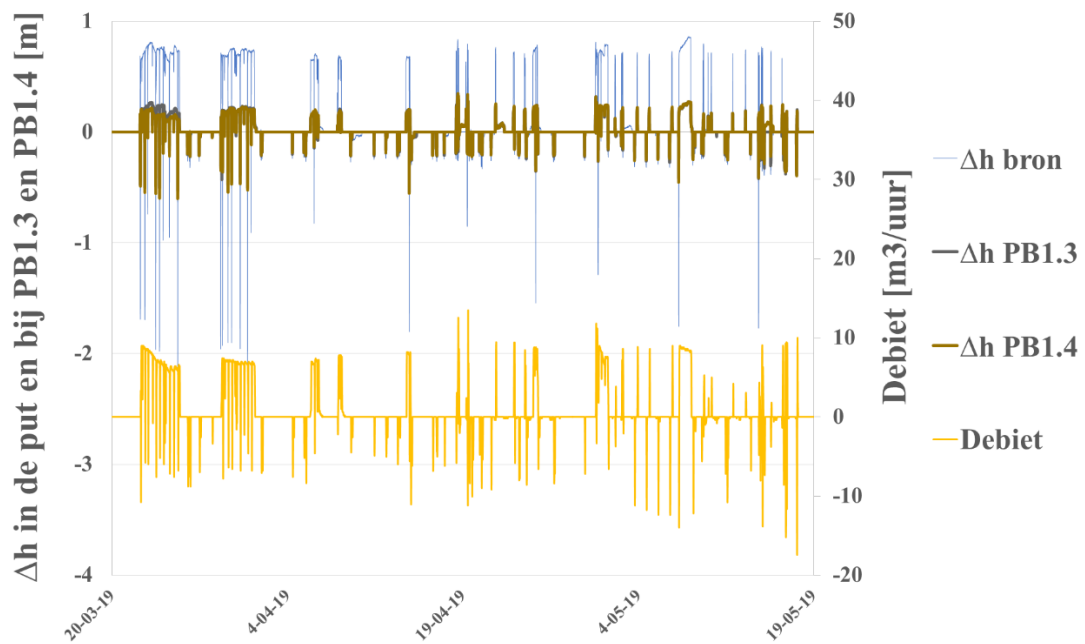
### 5.4.2 Stijghoogtes

De stijghoogtes die zijn waargenomen bij PB1.1, PB1.3, en PB1.4, op ca. 7 meter afstand van de bronfilters, zijn gegeven in Figuur 5-22. PB1.1 staat in de deklaag en meet de freatische grondwaterstand, terwijl PB1.3 en PB1.4 de stijghoogte in het watervoerend pakket monitoren. Uit Figuur 5-22 blijkt dat er inderdaad kwel optreedt vanuit het watervoerend pakket naar de deklaag. De stijghoogte bij PB1.3 en PB1.4 is namelijk hoger dan de grondwaterstand bij PB1.1. Dit werd ook al duidelijk uit de handmetingen van de referentie grondwaterstanden (sectie 3.3). Uit Figuur 5-22 blijkt tevens dat PB1.3 en PB1.4 duidelijk reageren op de periodes van infiltratie en onttrekking.



Figuur 5-22: Grondwaterstanden en stijghoogtes gemeten bij PB1.1, PB1.3, PB1.4, 126567-1, en 126567-6, en het debiet van de bronfilters.

Het netto-effect van infiltratie en onttrekking bij de bronfilters op de stijghoogtevariatie die is waargenomen bij PB1.3 en PB1.4 kan op dezelfde manier bepaald worden als voor de absolute infiltratiedruk van de infiltratiebron is gedaan ( $\Delta h = h_{\text{put}} - h_{\text{gw}}$ ; sectie 5.3.1). Hierbij is een maximale natuurlijke grondwaterstandsvariatie van 3 cm aangenomen. Het netto effect ( $\Delta h$ ) van infiltratie en onttrekking op de stijghoogtevariatie bij de bron en bij PB1.3 en PB1.4 is weergegeven in Figuur 5-23. Voor de periode 20/3/2019 – 19/5/2019 bedraagt het maximale effect van infiltratie op de stijghoogte bij de bron ca. 0,86 m, terwijl dat bij PB1.3 en PB1.4 respectievelijk 0,34 en 0,35 m (ca. 40%) bedraagt. Het maximale effect van onttrekking bedraagt -2,33 m bij de bron en -0,58 en -0,60 m (ca. 26%) bij respectievelijk PB1.3 en PB1.4. Omdat er nooit langer dan ca. 10 minuten met het maximale debiet is onttrokken en er sprake is van enige elasticiteit, is het maximale effect van onttrekking bij de peilbuis minder dan tijdens langdurende infiltratie.



Figuur 5-23: Netto effect ( $\Delta h$  in meters) van infiltratie en onttrekking op de stijghoogtevariatie bij de bron en bij PB1.3 en PB1.4 voor de periode 20-3-2019 t/m 19-5-2019.

Wanneer er niet wordt geïnfiltreerd of onttrokken, volgt de stijghoogte die wordt gemeten bij PB1.3 en PB1.4 de natuurlijke stijghoogtevariatie. Uit Figuur 5-22 blijkt dat de trend vergelijkbaar is met de waargenomen trend bij PB1.1, en dus in het freatische grondwater. Peilbuizen 126567-1 en 126567-6 staan op grotere afstand van de bron en zijn minder frequent gemeten, maar laten geen afwijkende resultaten zien. Het globale patroon van deze grondwaterstandsvariatie komt overeen met die van PB1.1.

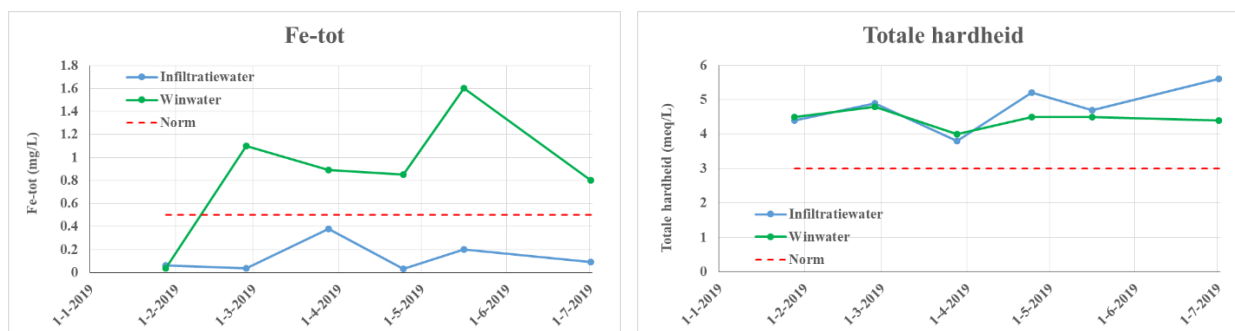
De 'pulsen' van infiltratie en onttrekking blijken geen directe invloed te hebben op de freatische grondwaterstandsvariatie bij PB1.1 op ca. 7 meter afstand van de bronfilters. Ook met een tijdreeksanalyse in Menyanthes kon geen duidelijke invloed van infiltratie en onttrekking op de freatische grondwaterstand worden bepaald. De freatische grondwaterstand wordt dus primair beïnvloed door processen aan het oppervlak, zoals neerslag en verdamping. De Holocene deklaag biedt voldoende weerstand om directe, forse effecten van infiltratie met UWB in het eerste watervoerende pakket niet te laten doorwerken aan maaiveld.

## 5.5 Kwaliteit winwater

### 5.5.1 Chemie

De resultaten van de analyses van het winwater zijn opgenomen in Bijlage VI. Op basis van deze gegevens kan m.b.t. de chemie worden geconcludeerd dat:

- De **macrochemie** van het winwater vergelijkbaar is met dat van het infiltratiewater;
- Over het algemeen de concentraties **van ijzer, mangaan, fosfaat, en ammonium** toenemen na bodempassage, wat verklaard kan worden door de relatief hoge achtergrondconcentraties van deze stoffen in grondwater (Figuur 5-24).
  - De concentraties van **ijzer** in winwater voldoen niet aan de vooraf vastgestelde kwaliteitswensen van Sparta, maar leiden in de tank en op het veld van Sparta niet tot zichtbare neerslagen. Wel zijn duidelijke ijzerveerslagen zichtbaar op de waterzuil. Sinds de laatste bemonsteringsronde wordt dagelijks een paar uur lang water opgepompt en via het filter (enigszins) belucht en terug geïnfiltreerd naar de ondergrond. Gepoogd wordt hierdoor meer ondergrondse ontijzering op gang te brengen;
- De gemiddelde concentratie **AMPA** is ná bodempassage (0,06 µg/L) hoger dan vóór bodempassage (0,04 µg/L). **AMPA** is een afbraakproduct van het bestrijdingsmiddel glyfosaat, wat tijdens de analyses niet boven de detectielimiet (0,01 µg/L) is aangetroffen in de verschillende watertypen. Mogelijk is de toename van **AMPA** het gevolg van een klein verschil in de tijd van de bemonsteringen vóór en ná bodempassage;
- De concentraties **nikkel, molybdeen, lood, arseen, en kwik** zijn enkele malen verhoogd in het winwater t.o.v. het infiltratiewater.
- De **hardheid** van het winwater is doorgaans hoger dan door Sparta wordt gewenst, maar heeft niet geleid tot zichtbare kalkneerslag op het kunstgras (Figuur 5-24);
- Bodempassage een extra barrière vormt voor goed adsorberende stoffen zoals **zink**. Deze komen in veel lagere concentraties voor in het winwater dan in het infiltratiewater. Dit betekent wel dat er een toename zal zijn van zink gebonden aan de bodemdeeltjes in het watervoerende pakket.



Figuur 5-24: Concentratie ijzer (links: Fe-tot) en totale hardheid (rechts) in infiltratiewater (blauw) en winwater (groen). De rode stippellijn is de norm die door Sparta wordt gehanteerd voor beregeningswater.



Figuur 5-25: Hoge concentraties ijzer in het winwater leiden tot neerslagen op de waterzuil. Dit wordt door ontwerper en buurtbewoners echter als 'gewenst' beschouwd om dat het de zuil een meer natuurlijke uitstraling geeft. Het wordt daarom niet verwijderd.

### 5.5.2 Microbiologie gedurende de monitoring

De resultaten van de (aanvullende) microbiologische analyses van het winwater zijn opgenomen in Bijlage VI, Bijlage VII, en Tabel 5-4. Op basis van deze gegevens kan over de microbiologie worden geconcludeerd dat:

- Het **kiemgetal 37°C** na bodempassage lager is dan de opgestelde norm. Op 1 juli was er in de tank zichtbaar dat er groei van deze bacteriën in het watersysteem na bodempassage op kan treden. Groei van bacteriën in het watersysteem is een aandachtspunt voor beregening van het voetbalveld van Sparta.
- **Enterococcon en E. coli** werden in het voedingswater en na het zandfilter aangetroffen, een indicatie voor een fecale verontreiniging. Enterococcon werden in vijf en *E. coli* in vier van de 8 monsters van 100 ml in het winwater na bodempassage (Figuur 5-26) aangetoond en overschreden daarmee de norm die Sparta heeft gesteld. Doorgaans werden in een positief monster winwater beiden aangetroffen, wat het beeld versterkt dat er sprake is van doorslag van fecale verontreiniging naar het winwater. Het aantonen van deze fecale indicatoren is een aandachtspunt voor beregening van het voetbalveld van Sparta. De concentraties van microbiologische verontreinigingen zijn doorgaans hoger wanneer er weinig tijd zit tussen infiltratie en onttrekking, en het water dus een kort verblijf heeft in de ondergrond. Dit komt met name voor tijdens periodes van veel regen en dus ook veel infiltratie, met kort daarop een behoefte tot beregenen. Bodempassage is wel een effectieve methode voor het reduceren van microbiologische verontreinigingen als de verblijftijd in de ondergrond ca. 10 dagen of langer bedraagt. Dit komt met name voor bij lange(re) droge periodes.
  - *NB1: de concentraties zijn relatief laag en er wordt gemeten met een kweekmethode. Harde vergelijkingen tussen infiltratiewater en winwater zijn daarom niet te maken (resultaten zijn zelfde orde van grootte).*

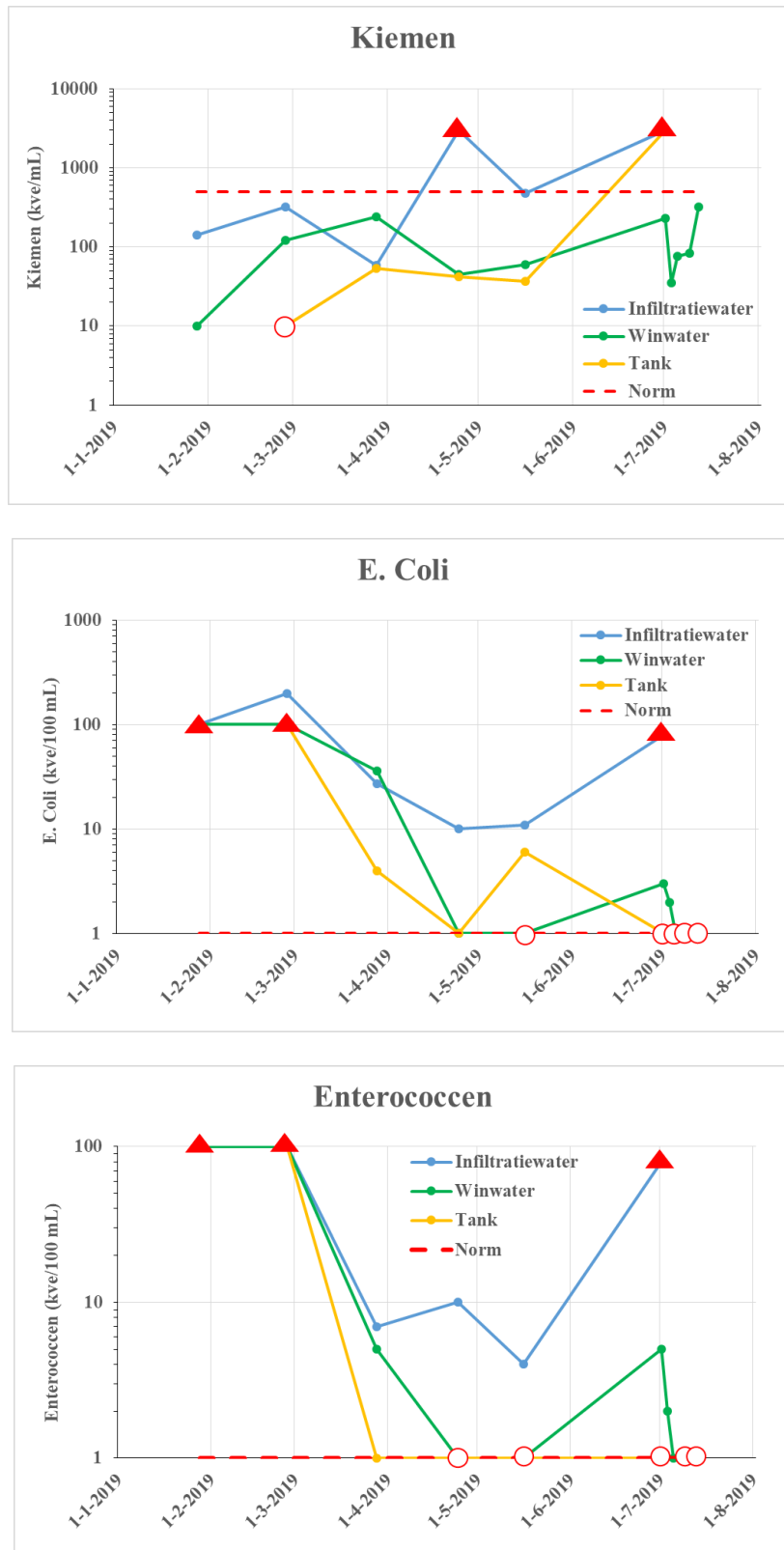
- NB2: Groei van deze organismen in de ondergrond is onwaarschijnlijk.

Tabel 5-4: Microbiologische resultaten van de laatste drie bemonsteringsrondes, met daarbij het aantal dagen sinds de laatste injectiefase. Monsternamen Gem. Rotterdam en analyse Eurofins.

Ronde	Datum	Monster	Kiemen 37°C cfu/mL	<i>E. coli</i> cfu/100 mL	Enterococci cfu/100 mL	Laatste (lange) injectie Dagen geleden
6	28/1/19	Voor filter	630	200	100	4
		Na filter	140	<100	<100	
		Win	10	<100	<100	
7	26/2/19	Voor filter	<10	100	<100	1
		Na filter	320	200	<100	
		Win	120	<100	<100	
		Tank	<10	<100	<100	
8	28/3/19	Voor filter	640	26	18	3
		Na filter	59	27	7	
		Win	240	36	5	
		Tank	54	4	1	
9	24/4/19	Voor filter	>3000	14	10	10
		Na filter	>3000	10	10	
		Win	45	1	<1	
		Tank	42	1	<1	
10	16/5/19	Voor filter	650	36	18	8
		Na filter	480	11	4	
		Win	60	<1	<1	
		Tank	37	6	<1	
11	1/7/19	Voor filter	1450	48	1	1 tot 11*
		Na filter	>3000	>80	>80	
		Win	230	3	5	
		Tank	>3000	<1	<1	
11a	3/7/19	Win1	35	2	2	1
11b	5/7/19	Win2	76	<1	1	3
11c	9/7/19	Win3	83	<1	3	7
11d	12/7/19	Win4	320	<1	<1	10

\*Monster genomen 7 uur na start infiltratie, betreft vermoedelijk mengwater: zowel infiltratiewater van 1-7-2019 als 19-6-2019



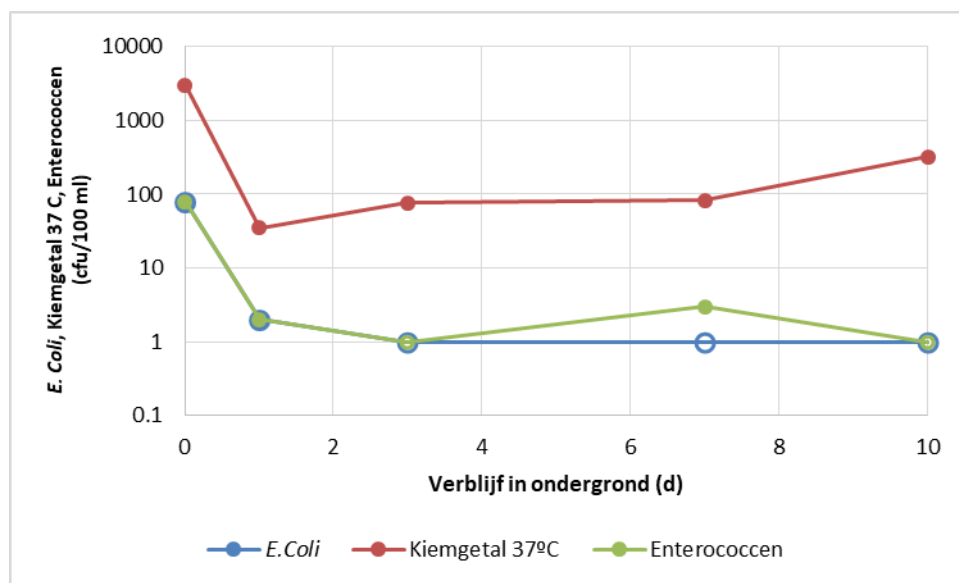


Figuur 5-26: Meetresultaten microbiologie tijdens korte cyclus (juli, 2019). Let op: de concentraties zijn gepresenteerd op logaritmische schaal. De rode driehoeken zijn waarden boven de detectielimiet. De open rode cirkels zijn waarden gemeten onder de detectielimiet.

### 5.5.1 Specifieke analyse microbiologie tijdens korte cyclus (juli, 2019)

Uit de specifieke analyses door KWR en Eurofins tijdens de proef in juli (Tabel 5-3 en Tabel 5-5) blijkt dat het afstromende hemelwater (voor *E. coli* en kiemgetal 37C) en na het biofilter duidelijk verontreinigd is met alle gemeten indicatoren.

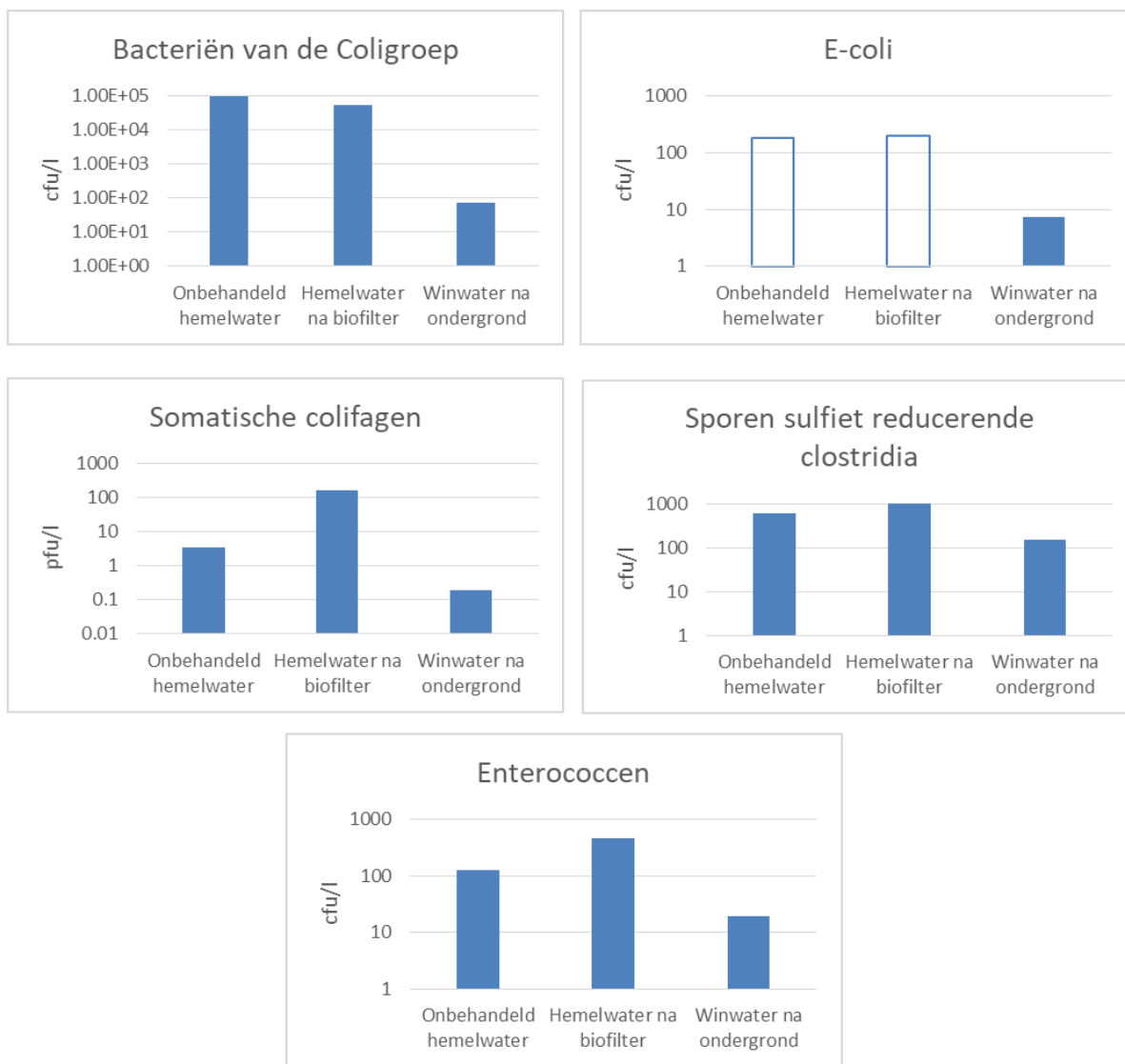
Afgaande op de frequente bemonstering door Gemeente Rotterdam, bereikt het winwater na ca. 3 dagen een waarde <10 cfu/l ofwel <1 cfu/100 ml. Op basis van het KWR-monster met een veel groter volume, is de concentratie voor *E. coli* na 10 dagen 7.2 cfu/l en daarmee ook <1 cfu/100 ml. Voor enterococci geldt dat op 10/7 door KWR een concentratie is gemeten van 19 cfu/l; door Eurofins is op 9/7 30 cfu/l en op 12/7 <10 cfu/l gemeten. Ook sporen van sulfiet reducerende clostridia (SSRC) lijken maar beperkt te worden verwijderd door de infiltratie en zijn in relatief hoge concentraties aanwezig in het winwater.



Figuur 5-27: Verloop van concentratie *E. coli*, Enterococci en Kiemgetal 37°C op basis monsternamen Gemeente Rotterdam en analyse Eurofins. Let op: rapportage is in cfu/100 ml. Zie ook Tabel 5-5. Open symbolen betekenen analyse < detectielimiet.

Tabel 5-5: Microbiologische resultaten van de analyses door lab KWR. Let op: rapportage is in cfu/l.

Parameter	Monster	Eenheid	Voor filter	Na filter	Winwater
Datum		dd/mm/jj	03/07/19	02/07/19	10/07/19
Bacteriën van de Coligroep		cfu/l	1,0E5	5,2E4	72
E-coli		cfu/l	<180	<200	7.2
F-specifieke RNA bacteriofagen		pfu/l	< 0,05	< 0,06	n.a.
Somatische colifagen		pfu/l	3.5	158	0.19
Sporen sulfiet reducerende clostridia		cfu/l	610	1,3E3	150
Enterococci		cfu/l	125	450	19



Figuur 5-28: Concentraties microbiologische parameters in onbehandel hemelwater (uit de kratjesbuffer), na behandeling met het biofilter en na 10 dagen opslag in de ondergrond op basis van enkelvoudige monsterneming. Open staven = waarde is onder detectielimiet.

### 5.5.2 Microbiologische risicoanalyse

De inzet van afgevoerd regenwater via infiltratie voor de besproeiing van een sportveld is een nieuw concept waarvoor geen specifieke wettelijke normen bestaan. RIVM heeft de 'Watercheck' (RIVM, 2018) opgesteld als richtlijn voor het beoordelen van risico's van nieuwe stedelijke waterconcepten. Dit specifieke voorbeeld wordt niet genoemd, maar wel de 'fontein op regenwater', wat een vergelijkbare situatie is omdat regenwater wordt verspreid in nabijheid van mensen. Een microbiologische risicoanalyse wordt aanbevolen om de situatie te beoordelen. In deze paragraaf wordt een indicatieve microbiologische risicoanalyse uitgevoerd op basis van de beperkte gegevens van de microbiologische waterkwaliteit van hemelwater in Spangen en de verwijdering door de biofilter en bodempassage.

### 5.5.2.1 Pathogene micro-organismen in regenwater

Regenwater bevat zelf vrijwel geen ziekteverwekkende micro-organismen (pathogenen). In de situatie bij Spangen wordt het regenwater via de hemelwaterafvoer opgevangen van daken, straatkolken op de parkeerplaats via de groenstrook (helofytenfilter) naar de opvangbuffer geleid. De oppervlakken van de daken, parkeerplaats en de groenstrook zullen verontreinigd zijn met poep van dieren (vogels, honden, katten, knaagdieren) en mogelijk zijn er verkeerde aansluitingen op de hemelwaterafvoer waardoor ook afvalwater van mensen in het water terecht komt. In het te infiltreren water worden per 100 ml 10 tot 100 *E. coli* en enterococci bacteriën aangetroffen. Deze bacteriën zijn zelf niet pathogeen, maar tonen wel aan dat er poepsporten in het water zitten en daarom mogelijk ook pathogenen. Ter vergelijking, in rioolwater komen deze indicatororganismen in concentraties van  $10^5$  tot  $10^7$  cfu/100 ml voor. Nu is het water bij Spangen geen 1000 - 100.000 keer verdund rioolwater, maar een mengsel van poep van verschillende dieren, en mogelijk mensen. Tabel 5-6 geeft een overzicht van wat er bekend is over de aanwezigheid van mens-pathogene organismen in diverse fecale verontreinigingsbronnen. Wat direct opvalt is dat veel nog onbekend is, en dat de spreiding in concentraties heel groot is (de tabel geeft de log<sub>10</sub> waarde van de concentratie). Een beperkt aantal studies naar regenwaterkwaliteit in Nederland laat vergelijkbare resultaten zien. Sales-Ortells (2015) onderzocht water in een regenwaterplein en vond *E. coli* concentraties van 14 tot 150 cfu/100 ml en *Campylobacter* in concentraties van 35 tot 1100 genkopieën/100ml. *Campylobacter* is dus met moleculaire technieken onderzocht, en niet alle genkopieën zullen kweekbare *Campylobacter* bacteriën zijn. In de monsters waar verontreiniging van menselijke herkomst werd aangetoond, waren de concentraties *E. coli* en *Campylobacter* het hoogst. In een aantal monsters werd ook *Legionella pneumophila* aangetroffen. *Cryptosporidium* werd niet aangetroffen in deze monsters. Sales-Ortells en Medema (2014) onderzochten ook de kwaliteit van afstromend regenwater (stormwater) naar oppervlaktewater en wadi's. Daarin werd *E. coli* in orde grootte 10.000 cfu/100ml en *Campylobacter* orde 1.000 genkopieën/100ml aangetroffen. De Man et al. onderzochten diverse overstromingssituaties. "Rainfall generated surface runoff" bevatte 1.000 tot ruim 10.000 cfu/100ml *E. coli*. In een deel van de monsters werd *Campylobacter* aangetroffen in concentraties van 21 tot 187 mpn/l. *Cryptosporidium*, *Giardia*, norovirus en enterovirus werd in geen van deze monsters aangetroffen.

Deze onderzoeken laten zien dat afspoelend hemelwater besmet is met ziekteverwekkende micro-organismen (m.n. *Campylobacter*); de mate van fecale verontreiniging per situatie en bui kan variëren en ook de verhouding waarin pathogenen ten opzichte van *E. coli* voor komen. Afhankelijke van de aanwezigheid van dieren, het seizoen, temperatuur, droogteperiode voor regen, regenval, mate van infectie in dierlijke populatie en dergelijke zal de concentratie pathogenen in het infiltratiewater van Spangen steeds verschillen. Uitgaande van vogels en honden als belangrijkste bronnen blijkt uit Tabel 5-6 dat de concentratie *Campylobacter* (een bacterie) van dezelfde grootte orde kan zijn als *E. coli* en enterococci. Voor *Cryptosporidium* (een protozo) zien we dat de concentratie bij vogels circa een factor 100 lager wordt verwacht. Deze zeer globale schattingen van concentraties pathogenen worden gebruikt om het principe van de risicoanalyse te illustreren, maar uit bovenstaande blijkt dat het geschatte risico zelf een zeer grote onzekerheid zal omvatten.

Tabel 5-6. Pathogenen en indicatororganismen in verschillende fecale verontreinigingsbronnen in <sup>10</sup>log van concentratie. ("x" = niet aangetroffen, leeg betekent niet onderzocht).

Organisme	Riool <sup>1</sup>	Opp.	Mens	Rund <sup>2,3,4,6</sup>	Hond	Schaap	Vogel/ meeuw	Hert/ Ree <sup>2,3</sup>	
	<sup>2,4</sup> Water <sup>7</sup>	Water <sup>7</sup>	Feces <sup>8</sup>		<sup>2,3</sup>	<sup>2,3</sup>	<sup>2,3,9</sup>		
		<sup>10</sup> log n/l				<sup>10</sup> log n/g of <sup>10</sup> log DNA/g			
Indicator-organismen	<i>E. coli</i>	7,5-8,6	4,1	6,0	5,3	8,1		5,0-6,7	
	Enterococcen	6,4-7,5	4,3	5,5	x	4,4		2,0-5,1	
	<i>C. perfringens</i>	5,0-6,3							
	Somatische colifagen	3,0-6,4	2,9						
	F-specifieke RNA fagen	5,7-7,0	3,7						
	Pathogenen <sup>3</sup>	Enterovirus	0,5-3,1	-0,3					
	<i>Campylobacter</i>	2,5-6,0	1,9	6,0-9,0	2,0-5,7 <sup>6</sup> 2,0-8,7 <sup>9</sup> 2,8-8,0	<sup>9</sup> 3-8	3,1 8,0 <sup>9</sup> 1,6-7	1,2-7,3 <sup>9</sup> 2,3-5,3	<sup>6</sup> 2,1-7,2
	<i>E. coli O157</i>				<sup>9</sup> 2,0-6,0		x	<sup>6</sup> 2,9-5,0	
	<i>Cryptosporidium</i>	1,6-4,5	1,8	7,0-8,0	1,7-3,6 <sup>6</sup> 0-8,3 <sup>9</sup> 0-4,7		<8,3 <sup>9</sup> <1-3,8	2,3-3,9 <0,0-2,9	
	<i>Giardia</i>	0,8-5,8	1,9	5,0-8,0	<0,0-6,8 <sup>6</sup> 1,3-8,3 <sup>9</sup> 0-4,5		<sup>9</sup> <1-2,7	0,0-4,9	

### 5.5.2.2 Verwijdering van pathogenen door filtratie en bodem

Het helofytenfilter heeft tot doel het water te zuiveren voor infiltratie. Uit Tabel 5-4 blijkt dat dit weinig effect heeft op *E. coli* en enterococcen. De concentraties voor en na zijn van dezelfde orde grootte. De individuele verschillen bij monsternamerondes, waarbij concentraties soms wat hoger of lager zijn, kunnen worden verklaard door variaties in de tijd en de microbiologische analysemethoden. Daarbij worden immers een beperkt aantal discrete deeltjes (bacteriën) in het water aangetoond, waarbij een kleine variatie meteen tot een andere gerapporteerde concentratie leidt. Voor de risicoanalyse zijn alleen effecten van grootte orde van belang (factoren 10) die niet optreden bij het helofytenfilter.

De filtratie door de bodem lijkt wel circa 1 orde grootte effect te hebben, en doet de concentratie bacteriën met een factor 10 afnemen. Bij langere tijd lijkt de verwijdering groter, maar door de lage concentratie organismen in het infiltratiewater kan niet meer verwijdering worden aangetoond. De detectie van een of enkele *E. coli* in het onttrokken water na enkele dagen geeft in ieder geval aan dat de zuiverende werking beperkt is. Uit de gevoeliger microbiologische metingen door KWR blijken na acht dagen tussen infiltratie en onttrekking nog steeds fecale indicatoren in het onttrokken water aanwezig te zijn. Bij die meting zijn ook andere indicatororganismen onderzocht. Opvallend is dat bacteriën van de coligroep circa 3 logeenheden (factor 1000) zijn verwijderd, terwijl enterococcen 1,4 log zijn verwijderd. Geen van de bacteriën van de coligroep in het geïnfiltreerde water werd geïdentificeerd als *E. coli* (dit wordt op een steekproef getest). In het onttrokken water werd wel *E. coli* aangetoond. SSRC worden vaak gebruikt als indicator voor verwijdering van

*Cryptosporidium*, en gaven hetzelfde beeld als enterococcen. Somatische fagen zijn indicatoren voor verwijdering van virussen. De hogere concentratie na het helofytenfilter kan het gevolg zijn van momentane variaties. Dat plaatst de geobserveerde 3 logeenheden verwijdering van colifagen door infiltratie in perspectief, omdat met een beperkt aantal monsters en een mogelijk snel variërende waterkwaliteit niet een directe relatie tussen monsters voor en na infiltratie kan worden aangenomen.

### 5.5.2.3 Toepassing water en blootstelling

Als belangrijkste scenario wordt het besproeien van het veld voor een wedstrijd beschouwd waarbij toeschouwers aanwezig zijn. Toeschouwers krijgen druppels of aerosolen in de mond die zij vervolgens inslikken. Spelers worden blootgesteld via het natte gras, wat in deze analyse buiten beschouwing blijft. De hoeveelheid water die men per persoon via druppeltjes binnen krijgt wordt geschat op 0,1 ml bij tuinsproeien tot 20 ml bij het blussen van branden. Voor blootstelling via irrigatie van publieke ruimte resp. blootstelling van personen bij irrigatie in de landbouw via contact met natte oppervlakken wordt met 1 ml gerekend (NHMRC 2006, Tabel 3.3). Dit zou kunnen worden aangehouden voor indirecte routes wanneer het publiek niet in het stadion aanwezig is op het moment van sproeien, bijvoorbeeld via natte leuning, stoelen op de handen en vervolgens naar de mond. Voor de risicoanalyse is gerekend met inname van 5 ml water, gezien de grote mate van verneveling die bij irrigatie van het veld plaatsvindt, en de mogelijke verspreiding daarvan over de tribunes door wind.

### 5.5.2.4 Risicoschatting

Bovenstaande aannames zijn ingevoerd in QMRAspot versie 30042019 (Schijven et al. 2011), zie Bijlage VIII en Bijlage IX voor de gebruikte parameters en resultaten. Daarbij is uit gegaan van de conservatieve aannames. De risicoschatting is samengevat in Tabel 5-7, waarin alle eenheden zijn aangepast naar liters. Hieruit blijkt het risico voor *Campylobacter* veel hoger is dan voor *Cryptosporidium*, wat grotendeels het gevolg is van de hogere concentratie in het infiltratiewater. Voor *Campylobacter* is aangenomen dat de concentratie en de verwijdering hetzelfde is als van *E. coli*. *E. coli* is daadwerkelijk aangetroffen in hemelwater in concentraties tot 2000 cfu/l en in winwater in concentraties van 7 tot 360 cfu/l.

Tabel 5-7 Microbiologische risicoschatting UWB Spangen zonder bodempassage

	<i>Campylobacter</i>	<i>Cryptosporidium</i>
Concentratie regenwater voor bodempassage (org/l)	2000	20
Log verwijdering filter en infiltratie	1	1
Concentratie irrigatiewater (org/l)	200	2
Blootstelling (l)	0.005	0.005
Blootstelling pathogenen	1	0,01
Infectierisico	5,1%	0,002%

Als risico beheersmaatregel zouden er een minimale tijd tussen infiltratie en onttrekking kunnen worden ingesteld. Bij het onderzoek werden na langere verblijftijden (doorgaans >3 dagen) geen of slechts enkele *E. coli* aangetroffen. Bij 1 *E. coli* per 100 ml is het theoretisch infectierisico circa 200 maal lager, dus orde 0,025%, en daarmee van dezelfde orde grootte als drinkwaterisico. Een belangrijke aanname is de concentratie *Campylobacter* in het regenwater en het winwater. Door gedurende een langere periode het winwater te monitoren op afwezigheid van *E. coli* kan worden bevestigd dat deze beheersmaatregel effectief is en dat het water voldoende veilig is voor toepassing in een gevuld stadion.

### 5.5.3 Discussie normstelling

Sparta hanteert afwezigheid van *E. coli* en enterococci in 100 ml als norm voor het besproeiingswater. Deze norm wordt vrij algemeen gebruikt voor microbiologisch veilig water zoals drinkwater en water in voedingsmiddelen. In dit onderzoek is die microbiologische waterkwaliteitsanalyse aangevuld met een indicatieve microbiologische risicoanalyse, zoals die wordt gebruikt voor de beoordeling van veilig drinkwater in Nederland en ook voor veilig hergebruik van rioolwater of hemelwater in Australië en door de WHO. Het berekende infectierisico zonder bodempassage wordt bepaald door *Campylobacter* en ligt op 5,1% op basis van een conservatieve berekening gebaseerd op de zeer beperkte gegevens over de microbiologische waterkwaliteit van het opgevangen hemelwater en de verwijdering in het biofilter.

Is 5,1% infectierisico toelaatbaar?

- De Europese zwemwaterrichtlijn hanteert richtlijnen voor de beoordeling van zwemwater, die zijn gebaseerd op epidemiologische studies. Tabel 5-8 geeft een overzicht van de risico's die bij de verschillende beoordelingen horen. Deze liggen op een ziekterisico van 1-5%. Het geschatte infectierisico van 5,1% ligt in dezelfde grootte van orde. Vraag is of een dergelijk risico acceptabel is voor de situatie bij Spangen. Bij zwemwater is sprake van een vrijwillige activiteit waarbij de recreant zich (min of meer) bewust bloot stelt aan risico's. Voor bezoekers van een stadion zal dat niet gelden.
- Het maximaal toelaatbare infectierisico voor drinkwater in Nederland is 0,01% per jaar (1 op 10.000), omdat dit een eerste levensbehoefte betreft (Anonymous, 2001). Dat risico ligt dus een orde 500 lager dan het hier indicatief berekende infectierisico voor *Campylobacter*, ervan uitgaande dat men eenmaal per jaar een stadion bezoekt. Omdat het hemelwater in Spangen drinkwater vervangt ligt het voor de hand om dit als uitgangspunt te nemen.

Het is dus sowieso van belang de verblijftijd in de ondergrond te verlengen naar minimaal 3 dagen. Daarbovenop kan men overwegen om een desinfectiestap met bijvoorbeeld UV-straling toe te voegen na terugwinning om de microbiologische kwaliteit van irrigatiewater verder te waarborgen. Bij drinkwaterbedrijven wordt een dergelijke desinfectiestap tevens toegevoegd om de strenge eisen voor drinkwaterkwaliteit m.b.t. pathogenen te waarborgen.

Tabel 5-8 Diverse normen voor infectierisico's (Sales-Ortells en Medema)

Safety level	Basis	Tolerable risk of gastro-intestinal illness	Tolerable risk of acute febrile respiratory illness
0	Bathing water	>5% <sup>1</sup>	>2,5% <sup>1</sup>
1	Bathing water: Good	3-5% <sup>1</sup>	1-2,5% <sup>1</sup>
2	Bathing water: Excellent	1-3% <sup>1</sup>	0,3-1% <sup>1</sup>
3	No observed risk <sup>2</sup>	<1%	<0,3%
4	Drinking water	<0,01% <sup>3</sup>	<(0,01%) <sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Based on single swimming event of 10 minutes with 3 head immersions. Longer and more frequent exposure is likely to result in higher risks.

<sup>2</sup> Background level of illness in the population, No Observed Adverse Effect Level in most epidemiological bathing water studies.

<sup>3</sup> Based on daily consumption of drinking water.

<sup>4</sup> Deducible from generic statement on tolerable risk in Drinkwaterbesluit, but not specifically intended or addressed in Drinkwaterbesluit.

#### 5.5.4 *Legionella* risico

Het teruggewonnen water bevat waarschijnlijk meer organische stof dan drinkwater. Daarmee kan het ook de groei van opportunistische pathogenen zoals *Legionella* bevorderen, bijvoorbeeld in de opslagtanks voor de beregening in het stadion. Infectie met *Legionella pneumophila* verloopt via inhaleren van aerosolen, die bij versproeiing worden gevormd. De mate waarin dit water meer groeibevorderend is dan drinkwater kan worden onderzocht om het risico op biologische groei te schatten. De temperatuur van het water heeft ook een belangrijke invloed op de mate van groei die optreedt. Voor drinkwater wordt een bovengrens van 25°C gehanteerd. Niet uit te sluiten is dat de temperatuur in de ruimte van tank in warme perioden langere tijd hoger is. Ook in de oude situatie was er daarom sprake van een risico.

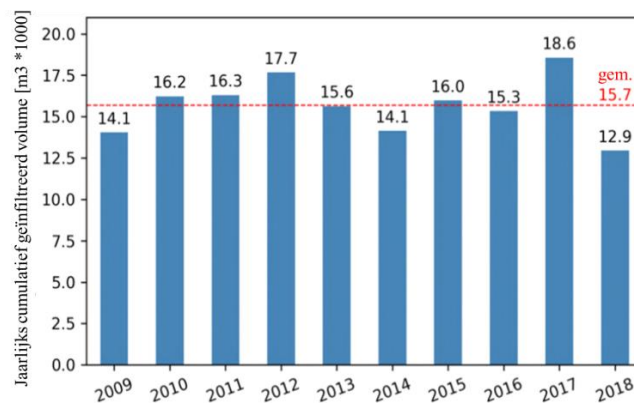
De mate van groei in de praktijk kan niet goed worden voorspeld omdat dit een uniek systeem is en de temperatuurontwikkeling nog niet bekend is. Aanbevolen wordt om de temperatuur van de tank bij Sparta te bewaken en een risicobeheersplan voor *Legionella* op te stellen en regelmatig het sproeiwater op *Legionella pneumophila* te onderzoeken om zo blootstelling van bezoekers te voorkomen.



## 6 Resultaten modellering

### 6.1 Infiltratie

Het jaarlijks cumulatief volume van geïnfiltreerd water dat is berekend met het grondwatermodel is gegeven in Figuur 6-1. Gemiddeld wordt er zo'n 15.700 m<sup>3</sup>/j geïnfiltreerd, met minima en maxima van respectievelijk 12.900 en 18.600 m<sup>3</sup>/j. In de gehele gemodelleerde tijdreeks resulteerde dit in slechts één dag waarop de buffer overstroomde en een volume van 21 m<sup>3</sup> verloren raakte. In de modellering is de volledige 37.000 m<sup>2</sup> wel aangesloten op het systeem, waaruit blijkt dat de Urban Waterbuffer ook kan voorzien in het voorkomen van wateroverlast wanneer een groter volume hemelwater toe zou stromen dan op dit moment daadwerkelijk beschikbaar is.



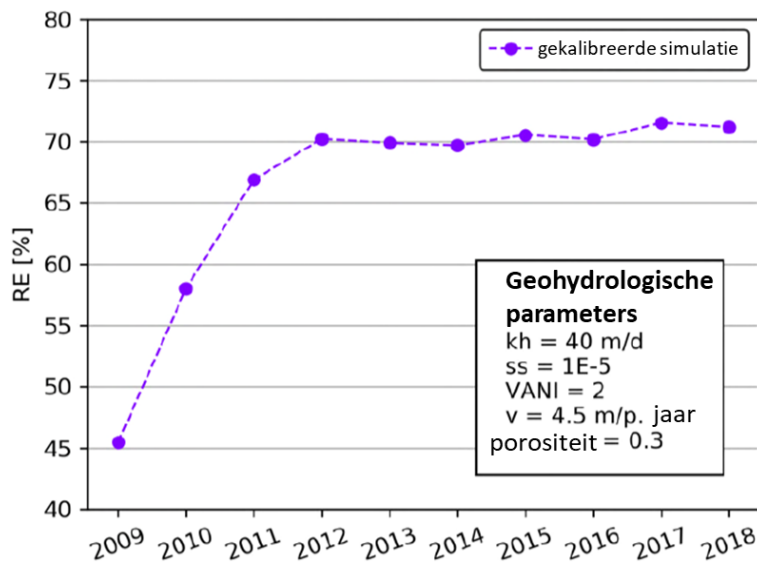
Figuur 6-1: Jaarlijks cumulatief geïnfiltreerd volume, resulterend uit de gekalibreerde modelresultaten.

### 6.2 Terugwinefficiëntie

Voor de parameters gegeven in Tabel 4-4 resulteert de gekalibreerde grondwatermodellering in de terugwinefficiëntie (RE) die is gegeven in Figuur 6-2. In het eerste jaar bedraagt de RE slechts 46%, omdat eerst een initiële zoetwaterlens gevormd moet worden om de onttrekkingsbron langere tijd zoet te kunnen houden. Na 4 jaar bereikt de ondergrondse waterberging een stabiele RE van ca. 70%. De kleine variatie die nog zichtbaar is in de daarop volgende jaren wordt veroorzaakt door de variatie van natte en droge jaren, en dus door de variatie van het totaal geïnfiltreerde volume van opgevangen hemelwater.

Per jaar is er een aantal dagen waarop niet kan worden voldaan aan de vraag van Sparta. Gemiddeld (voor 2012-2018, wanneer de RE stabiel is) bedraagt dit 34 dagen en in droge jaren (zoals 2018) kan dit oplopen tot 50 dagen, met zelfs tot in oktober tekorten (Tabel 6-1). In de opzet zoals deze bij Sparta is gemaakt, neemt de drinkwaterleiding de levering op die dagen over. De RE wordt niet alleen beïnvloed door menging met lokaal brak grondwater en oprijving van het zoete infiltratiewater, maar bij Sparta ook door de (vermoedelijke) laterale grondwaterstroming, welke ervoor zorgt dat het geïnfiltreerde water afdrijft van de bronfilters. Dit effect is, naast de oprijving van het zoete water, duidelijk zichtbaar in Figuur 6-3. De stroomsnelheid hierbij is de maximale stroomsnelheid op basis regionale isohypsen.

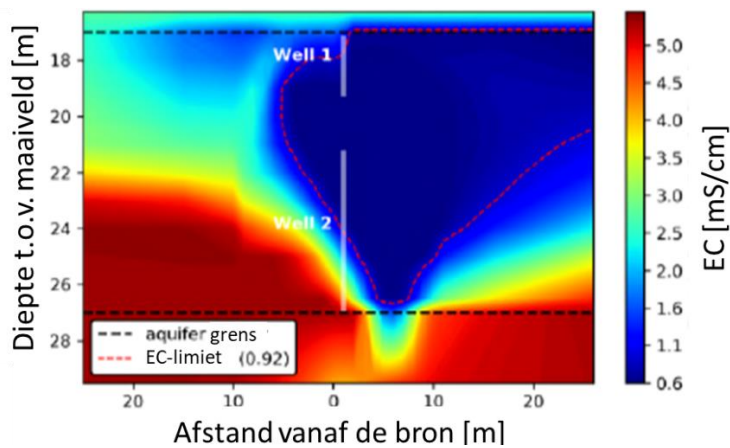
*NB: deze berekeningen gaan uit van 37.000 m<sup>2</sup> afstromend oppervlak. Dit lijkt in de praktijk maar ca. de helft te zijn (zie 5.1.1). Te verwachten valt dat in werkelijkheid de terugwinning daardoor voorlopig iets lager uitvalt, totdat meer oppervlak wordt aangesloten.*



Figuur 6-2: Terugwinefficiëntie op basis van de gekalibreerde grondwatermodelsimulatie.

Tabel 6-1: Aantal dagen waarop niet kan worden voldaan aan de vraag van Sparta.

Jaar	Maand					Totaal
	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	
2009	1	16	23	23	5	68
2010		10	9	2	6	27
2011		3	3	6	5	17
2012			8	13	3	24
2013		10	20	7	5	42
2014		8	5	16	9	38
2015		16	5		8	29
2016			9	20	7	36
2017		6	11			18
2018		14	15	7	14	50
<b>Gemiddelde 2012-2018</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>34</b>



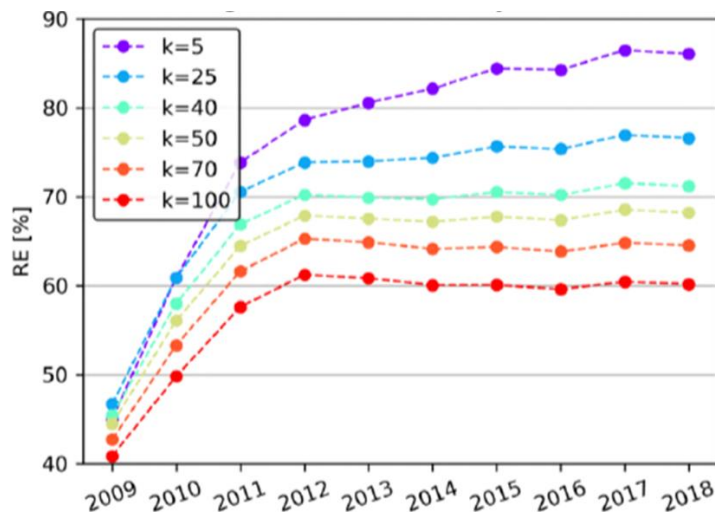
Figuur 6-3: Dwarsdoorsnede door de bronfilters in de gekalibreerde modelsimulatie voor 1-12-2011 bij horizontale afstroming van 7 m/j (is maximale afstroming op basis regionale isohypsen).

## 6.3 Gevoeligheidsanalyse

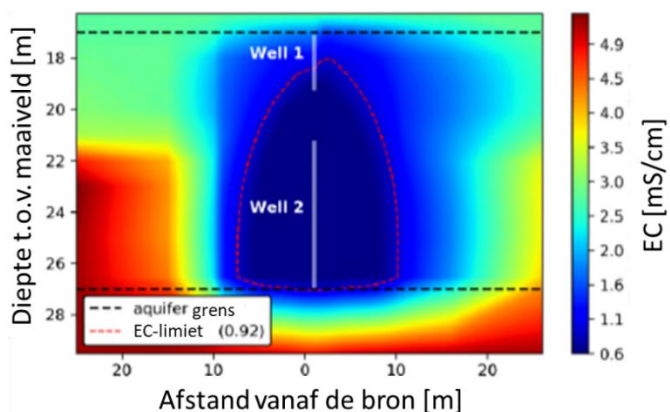
### 6.3.1 Horizontale hydraulische conductiviteit

De horizontale hydraulische conductiviteit bepaalt verschillende processen van de ondergrondse waterberging. Allereerst zorgt een hogere hydraulische conductiviteit ervoor dat het eenvoudiger is om water te infiltreren naar en te onttrekken uit de ondergrond. Dit vormde echter geen restrictie in de modelsimulatie omdat de infiltratie- en onttrekkingsdebiëten vooraf zijn opgelegd en niet zijn berekend op basis van de hydraulische conductiviteit. Een hogere conductiviteit zorgt echter tevens voor meer grondwaterstroming bij dezelfde constante stijghoogtes, wat resulteert in een lagere RE doordat het opgeslagen zoete grondwater afdrijft van de bronfilters waar tevens mee onttrokken wordt. Een hogere horizontale hydraulische conductiviteit zorgt daarnaast indirect voor meer opdrijving en een lagere RE doordat de verticale conductiviteit als fractie van de horizontale conductiviteit wordt gemodelleerd, en het opgeslagen zoete water bij hogere waarden makkelijker en sneller door het medium naar boven kan stromen.

Door de K-waarde te variëren van 5 tot 100 m/d worden verschillende dominanties van deze processen onderzocht (Figuur 6-4). Een hogere hydraulische conductiviteit zorgt bij de UWB voor een lagere RE. Grondwaterstroming en opdrijving zijn dus de processen die de RE domineren m.b.t. de hydraulische conductiviteit. Na 1 cyclus van infiltratie en onttrekking is er nog relatief weinig verschil tussen de verschillende scenario's merkbaar, omdat verliezen in de eerste cyclus worden gedomineerd door menging. Na 4 cycli wordt het verschil versterkt en varieert de RE van 60% ( $K_h = 100$  m/d) tot 80% ( $K_h = 5$  m/d). De RE blijft na deze 4 jaar enkel toenemen voor  $K_h = 5$  m/d tot uiteindelijk 85% na 10 cycli en blijft relatief constant voor de overige scenario's. Opvallend is dat bij de eerste twee cycli een  $K_h$  van 25 m/d voor een hogere RE zorgt ten opzichte van een  $K_h$  van 5 m/d. In deze eerste jaren lijkt de configuratie van de bronfilters (onder infiltreren en bovenin onttrekken) bij een  $K_h$  van 5 m/d niet volledig doeltreffend omdat er door de lage  $K_h$  ook relatief te weinig opdrijving plaatsvindt (Figuur 6-5). De grondwaterstroming is in Figuur 6-5 ook zichtbaar.



Figuur 6-4: Gevoeligheid van de RE voor de horizontale hydraulische conductiviteit.



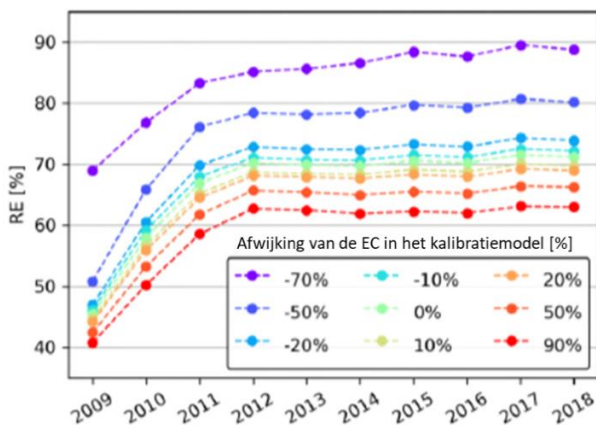
Figuur 6-5: Dwarsdoorsnede door de bronfilters voor 1 juli 2009 met een Kh van 5 m/d.

### 6.3.2 EC en chloride concentratie

Een lagere EC, en dus ook een lagere chlorideconcentratie, van lokaal grondwater zorgt voor een hogere terugwinefficiëntie door twee effecten (Figuur 6-6):

- menging met lokaal grondwater zorgt bij een lage EC pas later voor een overschrijding van de eisen die aan het water zijn gesteld;
- de dichtheid van lokaal grondwater is lager waardoor minder opdrijving plaatsvindt.

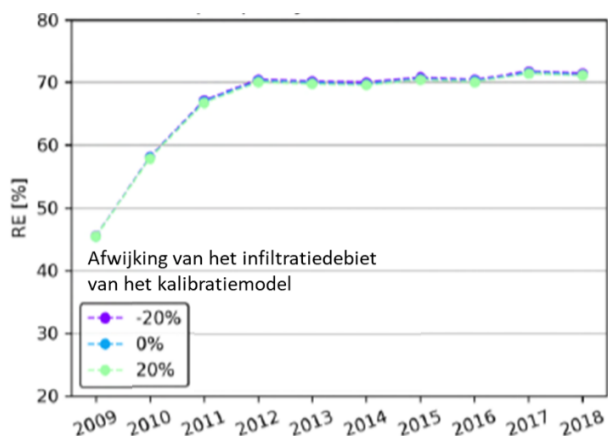
Hoe hoger de EC van lokaal grondwater, hoe signifikanter de menging is en hoe meer opdrijving plaatsvindt, wat resulteert in een lagere RE. Bij een lage EC bedraagt de RE na het eerste jaar ca. 70% en na 4 jaar ca. 85%. Na deze 4 jaar blijft de RE toenemen tot ca. 90% na 10 cycli. Voor de overige scenario's blijft de RE relatief constant na 4 jaar. Voor de hoogst gemodelleerde EC bedraagt de RE ca. 40 en 60% na respectievelijk 1 en 10 cycli.



Figuur 6-6: Gevoeligheid van de RE voor de EC van het lokale grondwater.

### 6.3.3 Infiltratiedebiet

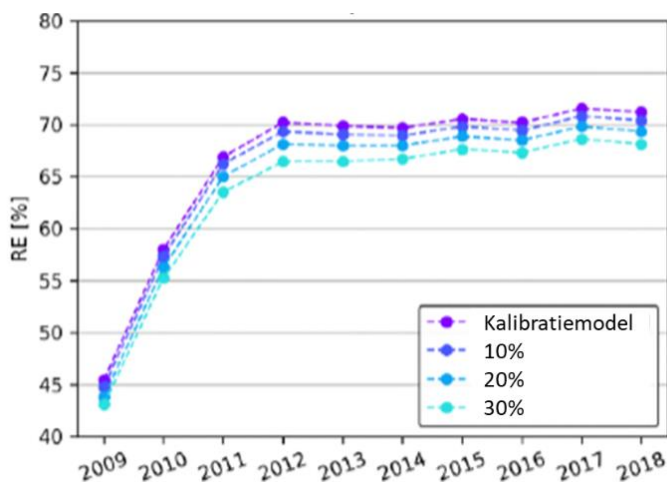
De RE lijkt niet sterk af te hangen van het infiltratiedebiet (Figuur 6-7). Met andere woorden, het infiltratiedebiet is niet beperkend voor de terugwinefficiëntie van de UWB. Dit komt doordat de buffer vrijwel alle neerslag tijdig op kan vangen en vrijwel nooit overstroomt. De hoeveelheid dagen waarop infiltratie plaatsvindt bedraagt 40 en 79 voor respectievelijk de 20% hogere pompcapaciteit en de 20% lagere pompcapaciteit. Het enige verschil tussen de scenario's is dat het hemelwater sneller kan worden geïnfiltreerd en de 1400 m<sup>3</sup> sneller wordt geleegd bij een hoger infiltratiedebiet. Als gevolg hiervan is er bij het 20% lagere infiltratiedebiet slechts 1 extra dag waarop de 1400 m<sup>3</sup> buffer overstroomt.



Figuur 6-7: Gevoeligheid van de RE voor het infiltratiedebiet.

### 6.3.4 Infiltratievolume

De gevoeligheid van de RE voor het infiltratievolume (en het onttrekkingsvolume) is gegeven in Figuur 6-8. Bij 10, 20, en 30% meer neerslag neemt het gemiddelde jaarlijks infiltratievolume toe van 15.700 m<sup>3</sup> naar respectievelijk 16.400, 17.400, en 18.300 m<sup>3</sup>. De RE neemt echter af wanneer er meer neerslag valt en meer wordt geïnfiltreerd. Dit komt doordat de bedrijfsvoering van de ondergrondse waterberging is gedimensioneerd op de huidige waterbalans. Wanneer men meer zoetwater heeft geïnfiltreerd, kan men namelijk langer met beide bronfilters onttrekken voordat men overschakelt naar het ondiepe bronfilter voor onttrekking. Volgens de modellering gaat er op dit moment meer water verloren door opdrijving, maar in de praktijk kan dit worden verholpen door de bedrijfsvoering daarop aan te passen.



Figuur 6-8: Gevoeligheid van de RE voor het infiltratievolume, o.b.v. 10%, 20%, 30% extra neerslag.

## 7 Enkele praktische ervaringen

### 7.1 Realisatie

#### 7.1.1 Bronfilters

Het realiseren van de afwerking van de bronfilters en het doen van onderhoud hieraan is niet eenvoudig door de hoge stijghoogte in het gebied. Bij Spangen is dit als volgt aangevlogen:

1. Er zijn twee bronfilters geplaatst in het zelfde pakket, in hetzelfde boorgat (dat is bij Robert Fruinstraat ook het plan);
2. De bronfilters zijn boven maaiveld opgeleverd.
3. Daarna is met een packer iedere bronbuis dichtgezet en lager afgewerkt.
4. Vervolgens is de eerste packer verwijderd en is daarna meteen de eerste bronfilter bemalen om de stijghoogte te verlagen. Daarna is de tweede packer verwijderd;
5. Vervolgens zijn de bronfilters afgewerkt, waarbij telkens het andere bronfilter werd bemalen zodat de stijghoogte voldoende laag bleef. De doorvoer door de bronkist is afgestort met beton. Daaronder is door de boorder het boorgat eerder al opgevuld met bentoniet.
6. Bij onderhoud aan 1 van de bronfilters wordt telkens het andere bronfilter bepompt. Dit is hier heel eenvoudig doordat de bronfilters zijn uitgerust met bronpompen.

In verband met de hoge grondwaterstand zijn zowel de waterruimte als de bronkist voorzien van een lenspomp, welke op basis van een vlotter afvoert naar de kratjesbuffer.

#### 7.1.2 Zetting / opdrijving

Te verwachten is dat zetting van nature zal optreden in het gebied. Er is geen extra zetting verwacht van de waterruimte doordat het gewicht lager is dat het verwijderde zand voor het ingraven. De ruimte (incl. dekking grond) is zwaar genoeg om opdrijven te voorkomen.

Er is geen zetting te verwachten van de bronbuis, deze staat stijf in het eerste watervoerende pakket. Mogelijk dat ter plaatse van de bronkist schuif gaat plaatsvinden langs de bronbuis en ongelijkheid tussen leidingwerk en bronbuis. Hier zijn geen maatregelen voor getroffen omdat om basis bij dergelijke putten in de tuinbouw (sinds de jaren '80) dit nog niet tot problemen leidt.

#### 7.1.3 Voorzuivering

De realisatie van de voorzuivering verliep zonder bijzonderheden. De voorzuivering (zandfiltratie) heeft een aanloop gehad van ca. 2 maanden voordat het water geïnfiltreerd werd. In deze tijd werd ook de opbouw duidelijk van een geringe vuillaag en het ontstaan van ijzerneslagen in de bovenste centimeters. Dit wordt als positief ervaren omdat het filter hierdoor beter werkt (meer zwevend stof wordt afgevangen, meer metalen geadsorbeerd). Zo'n initiatiefase (zonder infiltratie) is dus waardevol.

#### 7.1.4 Watertechnische ruimte

In het project is gekozen voor een ondergrondse watertechnische ruimte, welke al bij de aannemer was ingericht. Het voordeel hiervan is dat deze makkelijk te plaatsen valt (1x hijsen en alles is er). Een groot nadeel is dat de put onder de grondwaterspiegel staat en niet alle doorvoeren meteen voldoende dichtwaren. Toen bij het testen van de kratjesbuffer water in het systeem kwam liep ook de watertechnische ruimte vol, met schade tot gevolg.

Na afronding was er in de ruimte goed te werken. Wel bleef via 1 doorvoer water binnendruppelen. Door het leegpompsysteem wordt dit afgevoerd. Aanbeveling is wel om voor het leegpompsysteem een diepere goot te maken zodat het water beter wordt afgevoerd. Idem: een rooster op de bodem van de put.

Te overwegen is om drainput 1 en 2 voortaan met onderwaterpompen te bedienen en de E-kast bovengronds te plaatsen. Een watertechnische ruimte is dan niet vereist.

## 7.2 Bedrijfsvoering

De volgende instelling zijn gebruikt gedurende de laatste fase van de pilot, welke zijn gebaseerd op ervaringen in het eerste jaar.

Tabel 7-1: Gangbare instelling UWB Spangen

Parameter	Instelling
Start infiltratie	50% (op scherm PLC, is ook 50% na correctie)
Stop infiltratie	20% (op scherm PLC, is ca 2% na correctie)
Start vullen zandfilter	Vanaf 92%
Stop vullen zandfilter	Tot 96% vol
Stop legen zandfilter	Wanneer geleegd tot 60%
Max EC winning Laag 1	1,5 mS/cm
Backflush	Wanneer 10 m3 via watermeter 1 (is ca. 20 m3 in totaal via
Vulling voordrukbus	Eerst 80%, maar vanaf 2019 op 90% (is ca. +2 mNAP). Tussen
Vullen zandfilter 1	Van 7:00 tot 8:00 zodat evt. stank door stilstaand water weg is
Vullen zandfilter 2	Van 11: tot 14:00 zodat mensen het zien
Vullen zandfilter 3	Van 18:00 tot 19:00
Start ornament	Na 1x pompen
Duur ornament	30 seconden
Tijd tussen starts	10 seconden

In oktober 2019 is aan Codema verzacht om de start van Bronpomp 1 pas te laten plaatsvinden nadat de filtervulpomp (regenwater vanuit kratjesbuffer) 3 dagen niet heeft gedraaid. Zo wordt 3 dagen verblijftijd in de bodem gegarandeerd.

Tijdens bedrijfsvoering zijn de volgende storingen gepasseerd:

1. Alarm hoog niveau buffer Sparta: winning Sparta wordt stopgezet. De oorzaak hiervan was dat de alarmvlotter in de tank bij Sparta naar beneden geschoven was. Deze is weer op het juiste niveau ingesteld.
2. Drainput 2 te hoog: dit komt voor wanneer er een backflush plaatsvindt terwijl de buffer al op een hoog niveau is. Alarm wordt opgeheven als niveau weer daalt, maar blijft wel in de alarmlijst staan. Ook lijkt het erop dat de sensor waarmee het niveau van Drainput 2 gestuurd wordt niet altijd betrouwbaar werkt.
3. Alarm flow uit bronfilter 1: deze komt voor als de pomp 60 seconden draait maar er geen flow wordt waargenomen. Onduidelijk is waarom deze melding komt, omdat er na 60 seconden doorgaans wel flow is. Codema verlengt dit nog naar 180 seconden.

### 7.3 Beheer

Als beheer is in de pilotfase met name uitgevoerd:

1. Controle op (ver)storingen in de installatie (op afstand, wekelijks)
2. Schoonhouden Bluebloqs filter (maandelijks door consortium, regelmatig door reinigingsdienst Rotterdam):
  - a. Hier waait veel afval in door zijn lage ligging. Wat niet helpt is dat na wedstrijden van Sparta en door nachtelijke hangjeugd het hele plein vol met plastic troep ligt.
  - b. De jeugd vindt het ook interessant om bakstenen in het filter te gooien. Dit heeft geen impact op het presteren van het systeem
3. Onderhoud vegetatie
  - a. Verwijderen houtige soorten (2x), moet blijven gebeuren
  - b. Bijplanten waar jonge aanplant werd verwijderd (3x). Inmiddels is de beplanting beter vastgegroeid en is dit niet meer nodig
  - c. Snoeien (1x in november, moet elk jaar)
4. Reiniging put met Na-hypochloriet (zie paragraaf 5.3.2)
  - a. Dit kost ongeveer 2x een halve dag en is uitgevoerd door Codema.



## 8 Conclusies

### 8.1 Veldpilot UWB Spangen

In het voorjaar van 2018 is bij het Sparta stadion, in de wijk Spangen, een Urban Waterbuffer gerealiseerd. Hier wordt vanaf maximaal 45.000 m<sup>2</sup> verhard oppervlak het hemelwater verzameld, opgevangen in een dichte ondergrondse kratjesbuffer, behandeld via een Bluebloqs biofilter, en sinds 1 november geïnfiltreerd in het een afgesloten zandlaag met brak grondwater op 16,5 tot 27 m diepte. Na verblijf in de ondergrond wordt het water teruggewonnen voor irrigatie bij het Spartastadion, het irrigeren van beplanting op het zandfilter, en het laten lopen van water over een 'waterzuil' in de openbare ruimte. Tot half juli 2019 heeft intensieve monitoring plaatsgevonden van de bedrijfsvoering, de waterkwaliteit, en de hydrologische effecten in de nabijheid van het systeem.

### 8.2 Bedrijfsvoering

In totaal is bijna 10.000 m<sup>3</sup> gezuiverd hemelwater geïnfiltreerd in voornamelijk de onderste 7 m van de zandlaag. Met name met een filter in de bovenste 2 m van de zandlaag is ruim 2.500 m<sup>3</sup> water onttrokken voor gebruik. Zo'n 7500 m<sup>3</sup> hemelwater is achtergebleven voor latere onttrekking, maar zal deels op- en afdrijven naar de bovenkant van de zandlaag. In de laatste maanden van de bedrijfsvoering is ijzergecoat zand toegevoegd aan het zandfilter en is dagelijks water gerecirculeerd over het filter.

### 8.3 Hydrologische impact

Door de ruime kratjesbuffer en het feit dat niet al het verharde oppervlak in de omgeving lijkt te zijn aangesloten (waarschijnlijk is het stadion niet aangesloten op het hemelwater-maar op het vuilwaterstelsel) is een verlies van opgevangen hemelwater door overstort naar oppervlaktewater vrijwel niet mogelijk. Alleen door een storing in de bedrijfsvoering heeft eenmalig overstort plaatsgevonden (maart 2019). Om de buffer beter in te zetten en meer te doen tegen belasting van het vuilwaterstelsel, dienen ook de verharde oppervlaktes en het voetbalveld van Sparta op het hemelwaterstelsel te worden aangesloten. Zelfs dan zal overstort nauwelijks optreden.

Effecten van de infiltratie in de ondergrond zijn waarneembaar in de stijghoogte van het watervoerend pakket, maar niet in de freatische grondwaterstand. Naar schatting is 1850 m<sup>3</sup> drinkwater tijdens de veldpilot bespaard door Sparta.

### 8.4 Impact waterkwaliteit

Door vermenging met insijpelend ondiep grondwater, is het inkomende water vanuit de kratjesbuffer geen 'typisch' regenwater. Hoge concentraties van Na, C., Fe, Mn, HCO<sub>3</sub>, en NH<sub>4</sub> markeren het ondiepe grondwater. Fe en Mn zorgen daarbij voor een verhoogd risico op putverstopping en worden onvoldoende afgevangen door het Bluebloqs filter doordat beluchting niet plaatsvindt. Het ijzer-gecoat zand zorgt sinds april 2019 wel voor sterke verwijdering van met name Fe. Met name zink vormt een risico voor verontreiniging van het grondwater, maar wordt doorgaans voldoende verwijderd door het Bluebloqs filter. Het teruggewonnen water heeft relatief hoge concentraties Fe en totale hardheid voor het beoogde gebruik, maar dit leidt niet tot problemen. Op basis van de modelresultaten kan ca. 70% van het ingebrachte water succesvol worden teruggewonnen zonder sterke vermenging met brak grondwater.

De frequentie van de waterkwaliteitsmetingen lijkt passend gelet op de frequentie van infiltratie (een paar keer per maand) en de waargenomen verschillen in waterkwaliteit. Een frequentie van eenmaal per kwartaal zou ook afdoende zijn, met in ieder seizoen een meting. Ter vergelijking, in de glastuinbouw wordt vaak een tweejarige monitoring toegepast: eenmaal in de zomer en eenmaal in de winter.

De microbiologische kwaliteit behoeft aandacht. Op basis van de samenstelling van het hemelwater is er een risico op infectie door pathogenen via aerosolen uit het sproeiwater bij Sparta, dat hoger ligt dan wanneer met drinkwater wordt besproeid. Door het water langere verblijftijd (>drie dagen) in de ondergrond te geven wordt dit risico sterk verlaagd. De waterkwaliteit van onttrokken water wordt geschikt geacht voor beregening door Sparta, mits het in de ondergrond opgeslagen water een verblijftijd heeft van minimaal drie dagen. Aanbevolen wordt om dit te valideren door langduriger monitoring. Ook is een Legionella beheersplan met meting van temperatuur en Legionella aan te bevelen ter plaatse van de tank die ingezet wordt voor beregening, ook wanneer deze alleen gevuld wordt met drinkwater.

### 8.5 Putverstopping

Een belangrijk operationeel risico bij de Urban Waterbuffer is putverstopping. Door het Bluebloqs voorfilter wordt dit risico sterk verlaagd, omdat zwevend stof in belangrijke mate wordt afgevangen. Toch is een terugloop in specifieke infiltratiecapaciteit zichtbaar, zowel tijdens een periode van infiltratie (waarna herstel volgt tot bijna de oorspronkelijke capaciteit) als op lange termijn geleidelijke afname infiltratiedebiet. Vermoedelijk speelt biologische groei hierbij een belangrijke rol. In september zijn de bronfilters daarom eenmalig chemisch geregenereerd. Bij regeneratie met Na-hypochloriet bleek herstel van de infiltratiecapaciteit mogelijk en werd berekend dat ca. 75% van het de reacties plaatsvonden met organische stof. Aanbevolen is om betere beluchting voor het zandfilter te realiseren zodat het zandfilter beter in staat wordt om de biologische groeipotentie te verlagen en ijzer vast te leggen.

### 8.6 Praktisch

Het realiseren en in bedrijf houden van de Urban Waterbuffer Spangen is haalbaar gebleken, maar kent wel enige uitdagingen:

1. De watertechnische ruimte en de bronkist bevinden zich onder het freatische grondwaterniveau en onder de stijghoogte in het watervoerende pakket. Dit maakt het risico op wateroverlast groot en vraagt zorgvuldige afdichtingen en droogpompvoorzieningen.
2. Het Bluebloqs zandfilter is gevoelig voor inwaaien van vuil vanaf de straat. De vegetatie is in het begin plaatselijk hersteld doordat deze door jeugd werd verwijderd.
3. Door de veelheid van sensoren en automatisering zijn er de nodige alarmen gegenereerd. Bij een aantal van die alarmen wordt de bedrijfsvoering stopgezet.
4. Veel is gestuurd met druksensoren welke een signaal leveren aan de PLC, op basis hiervan wordt een waterhoogte bepaald en het inslag en uitslagpeil wordt elektronisch opgelegd. Aanbevolen is om robuuster te werken met leveltransmitters op vast inslag en uitslagpeil in de drainputten.
5. Niet de gehele 3.7 ha verhard oppervlak draineert naar het regenwatersysteem. Mogelijk is niet het gehele terrein van Sparta aangesloten. Het loont in het vervolg moeite om vooraf een goede analyse uit te voeren van het daadwerkelijk aangesloten oppervlak.

## 9 Referenties

Anonymous (2001). Besluit van 9 januari 2001 tot wijziging van het waterleidingbesluit in verband met de richtlijn betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water. (Adaptation of Dutch drinking water legislation) Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden 31: 1-53.

Bloemendal, M., & Hartog, N. (2018). Analysis of the impact of storage conditions on the thermal recovery efficiency of low-temperature ATES systems. *Geothermics*, 71, 306-319.

Briesch, R., 2003. Opinion of the European Economic and Social Committee on the 'Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council concerning the quality of bathing water'. In Brussels, Committee, E. E. a. S., Ed. Official Journal of the European Union: Vol. 2003/C 220/09:39-43.

De Man, H., et al. (2014). "Quantitative assessment of infection risk from exposure to waterborne pathogens in urban floodwater." *Water Res* 48: 90-99.

Havelaar, A. H., J. A. Haagsma, M. J. J. Mangel, J. M. Kemmeren, L. P. B. Ver-hoef, S. M. C. Vijgen, M. Wilson, I. H. M. Friesema, L. M. Kortbeek, Y. T. H. P. van Duynhoven & W. van Pelt, 2012. Disease burden of foodborne pathogens in the Netherlands, 2009. *International Journal of Food Microbiology*, 156(3):231-238.

Langevin, C. D., Thorne Jr, D. T., Dausman, A. M., Sukop, M. C., & Guo, W. (2008). SEAWAT version 4: a computer program for simulation of multi-species solute and heat transport (No. 6-A22). Geological Survey (US).

Maas, K. (1996) Hatsie-kD 15: Kies de modelrand verder weg dan drie keer de spreidingslengte; in: *Stromingen Vol 2:4*. pag 49-51.

NHMRC (2008). Australian guidelines for water recycling: managing health and environmental risks (Phase 2) potable reuse, National Health and Medical Research Council.

RIVM (2006). Dochterrichtlijn Grondwater. Geraadpleegd van: [www.rivm.nl/kaderrichtlijn-water-krw/grondwaterrichtlijn](http://www.rivm.nl/kaderrichtlijn-water-krw/grondwaterrichtlijn). Geraadpleegd op: 3-12-2019.

STOWA (2016). Ondergronds bergen en terugwinnen van water in stedelijk gebied: een verkenning van de (on)mogelijkheden. STOWA-rapport 2016-01. Geraadpleegd van: <https://edepot.wur.nl/371586>. Geraadpleegd op: 6-8-2019.

Sales Ortells, H. (2015). Health Impact Assessment of New Urban Water Concepts. Faculty of Civil Engineering. Delft, the Netherlands, Delft University of Technology. PhD: 218.

H Sales Ortells, G Medema (2014). Health impact assessment of urban climate change adaptations. KWR Report nr KWR 2014.064

Schijven, J. F., et al. (2011). "QMRAspot: a tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from surface water to potable water." *Water Res* 45(17): 5564-5576.

Staatscourant (2013). Circulaire bodemsanering per 1 juli 2013. Staatscourant van het Koninkrijk der Nederlanden. Geraadpleegd van: [zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2013-16675.html](http://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2013-16675.html). Geraadpleegd op: 6-8-2019.

Van Beek, C.G.E.M en W.F. Kooper, 1980. The clogging of shallow discharge wells in the Netherlands river region. *Ground Water*, 18(6): 578-586.

Wettenbank Overheid (2009). Infiltratiebesluit bodembescherming. Geraadpleegd van: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0005957/2009-12-22>. Geraadpleegd op: 22-11-2019.

Wettenbank Overheid (2019). Drinkwaterregeling. Geraadpleegd van: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0030152/>. Geraadpleegd op: 22-11-2019.

Zuurbier, K. G., Zaadnoordijk, W. J., & Stuyfzand, P. J. (2014). How multiple partially penetrating wells improve the freshwater recovery of coastal aquifer storage and recovery (ASR) systems: A field and modeling study. *Journal of hydrology*, 509, 430-441.

Zuurbier, K.G., N. Hartog, and P.J. Stuyfzand, Reactive transport impacts on recovered freshwater quality during multiple partially penetrating wells (MPPW-)ASR in a brackish heterogeneous aquifer. *Applied Geochemistry*, 2016. 71: p. 35-47.

## Bijlage I Boorgegevens B1 (peilbuis)

### Schijf Grondboringen B.V.

	Formulier	Doc.code:	<b>OPR</b>
	Opleverrapportage	Pagina:	1 / 4
		Datum:	22-12-10
		Versie:	2.0



Drechtdijk 36, 1424 RH De Kwakel  
Tel: 0297-563260, Fax: 0297-540592

**BOORPROFIEL** (uitgevoerd onafhankelijk van de opdrachtgever en onder BRL SIKB 2100, VKB pr

<b>Plaats</b>	Rotterdam		
<b>Locatie</b>	Sparta Stadion		
<b>Uitvoeringsperiode</b>	12-3-2018		
<b>Boringnummer/code</b>	B1/peilbuisboring		
<b>Boorsyst./diam.</b>	zuigboring/ø240		
<b>Opdrachtgever</b>	KWR		
<b>Boormeester</b>	M Schijf		
<b>Einddiepte</b>	27.00		
<b>Hulp-boormeester</b>	M Elings		
<b>Boorspoeling / additieven</b>	<b>Hoeveelheid werkwater</b>	14m <sup>3</sup>	
<b>XY-coördinaten</b>			

Diepte in mtrs - maaiveld	Omschrijving grondlagen vlgns NEN 5104	M-waarde
00.00 - 00.10	klinkers	
00.10 - 01.40	zand,matig fijn,geel	
01.40 - 02.00	zand,matig fijn met puin brokken,grijs	
02.00 - 02.50	zand,matig fijn,grijs	
02.50 - 04.00	klei,matig humeus,grijs/bruin	
04.00 - 05.50	veen,bruin	
05.50 - 08.00	klei,licht humeus,grijs/bruin	
08.00 - 10.00	klei,licht zandig,grijs	
10.00 - 12.00	klei,licht zandig,grijs	
12.00 - 13.50	klei,licht zandig,grijs	
13.50 - 14.25	klei,licht humeus,grijs/bruin	
14.25 - 15.75	zand,matig fijn,grijs	300
15.75 - 16.25	klei met zandlagen,grijs	
16.25 - 17.00	zand,matig fijn met wat kleibrokken,grijs	425
17.00 - 18.00	zand,matig grof,grijs	425
18.00 - 20.00	zand,matig grof met grindjes,grijs	425
20.00 - 20.50	zand,matig grof tot matig fijn,grijs	425
20.50 - 22.00	zand,matig grof,grijs	425
22.00 - 23.00	zand,matig grof,grijs	425
23.00 - 24.00	zand,matig grof wat grindjes,grijs	425
24.00 - 25.00	zand,matig grof met grindjes,grijs	425
25.00 - 26.00	zand,matig grof tot matig fijn,grijs	425/300
26.00 - 27.00	zand,matig grof tot matig fijn,grijs	425/300
27.00 -	klei,grijs	
-		

**Schijf Grondboringen B.V.**

	Formulier	Doc.code:	<b>OPR</b>
	<b>Opleverrapportage</b>	Pagina:	3 / 4
		Datum:	16-07-10
		Versie:	1.0

<b>Plaats</b>	<b>Rotterdam</b>		
<b>Locatie</b>	<b>Sparta Stadion</b>		
<b>Uitvoeringsperiode</b>	<b>12-3-2018</b>		
<b>Boringnummer/code</b>	<b>B1/peilbuisboring</b>		
<b>Boorsyst./diam.</b>	<b>zuigboring/ø240</b>		
<b>Opdrachtgever</b>	<b>KWR</b>		
<b>Boormeester</b>	<b>M Schijf</b>		
<b>Einddiepte</b>	<b>27.00</b>		
<b>Hulp-boormeester</b>	<b>M Elings</b>		
<b>Boorspoeling / additieven</b>	<b>0</b>	<b>Hoeveelheid werkwater</b>	<b>14m³</b>
<b>XY-coördinaten</b>	<b>0</b>		

<b>Eventuele opmerkingen / tekortkomingen / getroffen maatregelen / verontreinigingen / onderbouwing bij afwijking van BRL SIKB 2100 - VKB Protocol 2101:</b>		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		

<b>Constructie</b>						
Constructie	Diepte m-mv	Lengte m	Materiaal	Diam. mm	Perf.mm	
stijgbuis	00.00-16.50	16.5	pvc	75		
filter	16.50-19.00	2.5	pvc	75	0.5	

<b>Pijlbuisconstructie</b>						
Stijgbuis m- mv	Diam.mm	Materiaal	Nr.	Filter m - mv	materiaal	Perf.mm
00.00-01.30	33	pvc	1	01.30-02.30	pvc	0.5
00.00-20.00	33	pvc	2	20.00-21.00	pvc	0.5
00.00-23.00	33	pvc	3	23.00-24.00	pvc	0.5
00.00-26.00	33	pvc	4	26.00-27.00	pvc	0.5

**Schijf Grondboringen B.V.**

	Formulier	Doc.code:	<b>OPR</b>
	Opleverrapportage	Pagina:	4 / 4
Datum:		16-07-10	
Versie:		1.0	

<b>Plaats</b>	<b>Rotterdam</b>		
<b>Locatie</b>	<b>Sparta Stadion</b>		
<b>Uitvoeringsperiode</b>	<b>12-3-2018</b>		
<b>Boringnummer/code</b>	<b>B1/peilbuisboring</b>		
<b>Boorsyst./diam.</b>	<b>zuigboring/ø240</b>		
<b>Opdrachtgever</b>	<b>KWR</b>		
<b>Boormeester</b>	<b>M Schijf</b>		
<b>Einddiepte</b>	<b>27.00</b>		
<b>Hulp-boormeester</b>	<b>M Elings</b>		
<b>Boorspoeling / additieven</b>	<b>0</b>	<b>Hoeveelheid werkwater</b>	<b>14m<sup>3</sup></b>
<b>XY-coördinaten</b>	<b>0</b>		

<b>Kleiafdichting</b>		
kleiafdichting 300	00.60-01.50	19.10-19.50
grind 1-1.6	01.50-02.50	19.50-27.00
kleiafdichting 300	02.50-05.80	
grind 1-1.6	05.80-07.50	
kleiafdichting 300	07.50-09.80	
grind 1-1.6	09.80-11.50	
kleiafdichting 300	11.50-15.00	
grind 1-1.6	15.00-19.00	
kleiafdichting 300	19.00-19.50	
grind 1-1.6	19.50-21.10	
kleiafdichting 300	21.10-22.00	
grind 1-1.6	22.00-24.20	
kleiafdichting 300	24.20-25.00	
grind 1-1.6	25.00-27.00	

<b>Grondwaterinformatie</b>				
m-mv	0.40	peilbuis 1	PH / EC	0.66
m-mv		peilbuis 2	PH / EC	3.36
m-mv		peilbuis 3	PH / EC	5.21
m-mv		peilbuis 4	PH / EC	5.29
m-mv		bron	PH / EC	2.75

## Bijlage II Boorgegevens B2 (OWB-systeem)

### Schijf Grondboringen B.V.

	Formulier	Doc.code:	<b>OPR</b>
	Opleverrapportage	Pagina:	1 / 4
Datum:		22-12-10	
Versie:		2.0	



Drechtdijk 36, 1424 RH De Kwakel  
Tel: 0297-563260, Fax: 0297-540592

**BOORPROFIEL** (uitgevoerd onafhankelijk van de opdrachtgever en onder BRL SIKB 2100, VKB pr

<b>Plaats</b>	Rotterdam		
<b>Locatie</b>	Sparta Stadion		
<b>Uitvoeringsperiode</b>	15-3-2018		
<b>Boringnummer/code</b>	B2/OWB		
<b>Boorsyst./diam.</b>	zuigboring/ø500		
<b>Opdrachtgever</b>	KWR		
<b>Boormeester</b>	M Schijf		
<b>Einddiepte</b>	27.00		
<b>Hulp-boormeester</b>	M Elings		
<b>Boorspoeling / additieven</b>	<b>Hoeveelheid werkwater</b>	14m <sup>3</sup>	
<b>XY-coördinaten</b>			

Diepte in mtrs - maaiveld	Omschrijving grondlagen volgens NEN 5104	M-waarde
00.00 - 00.10	klinkers	
00.10 - 00.40	zand,matig fijn,geel	
00.40 - 00.80	zand,matig fijn,wat puinresten,grijs	
00.80 - 01.40	zand,matig fijn,grijs	
01.40 - 01.80	zand,matig fijn wat puinresten,grijs	
01.80 - 02.50	zand,matig fijn met houtresten,grijs	
02.50 - 03.80	klei,matig humeus,grijs/bruin	
03.80 - 05.00	veen,bruin	
05.00 - 07.00	klei,matig humeus,grijs/bruin	
07.00 - 10.00	klei,licht zandig,grijs	
10.00 - 12.00	klei,licht zandig,grijs	
12.00 - 14.00	klei,licht zandig,grijs	
14.00 - 14.50	klei,licht humeus,grijs/bruin	
14.50 - 15.50	zand,matig fijn met kleibrokken,grijs	
15.50 - 16.75	klei,licht zandig,grijs	
16.75 - 17.50	zand,matig fijn met kleibrokken,grijs	
17.50 - 19.00	zand,matig grof,grijs	
19.00 - 20.00	zand,matig grof met grindjes,grijs	
20.00 - 22.00	zand,matig grof met grindjes,grijs	
22.00 - 23.50	zand,matig grof	
23.50 - 24.25	zand,matig grof wat grindjes,grijs	
24.25 - 26.00	zand,matig grof tot matig fijn,grijs	
26.00 - 26.50	zand,matig grof tot matig fijn,grijs	
26.50 - 27.00	klei,grijs	
-		



**Schijf Grondboringen B.V.**

	Formulier	Doc.code:	<b>OPR</b>
	Opleverrapportage	Pagina:	3 / 4
		Datum:	16-07-10
		Versie:	1.0

<b>Plaats</b>	<b>Rotterdam</b>		
<b>Locatie</b>	<b>Sparta Stadion</b>		
<b>Uitvoeringsperiode</b>	<b>15-3-2018</b>		
<b>Boringnummer/code</b>	<b>B2/OWB</b>		
<b>Boorsyst./diam.</b>	<b>zuigboring/ø500</b>		
<b>Opdrachtgever</b>	<b>KWR</b>		
<b>Boormeester</b>	<b>M Schijf</b>		
<b>Einddiepte</b>	<b>27.00</b>		
<b>Hulp-boormeester</b>	<b>M Elings</b>		
<b>Boorspoeling / additieven</b>	<b>0</b>	<b>Hoeveelheid werkwater</b>	<b>14m³</b>
<b>XY-coördinaten</b>	<b>0</b>		

Eventuele opmerkingen / tekortkomingen / getroffen maatregelen / verontreinigingen / onderbouwing bij afwijking van BRL SIKB 2100 - VKB Protocol 2101:		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		
-		

Constructie					
Constructie	Diepte m-mv	Lengte m	Materiaal	Diam. mm	Perf. mm
stijgbuis	00.00-17.00	17.0	pvc	160	
filter	17.00-19.00	2.0	pvc	160	0.5
stijgbuis	00.00-20.00	20.0		160	
filter	20.00-26.50	6.5		160	0.5

Pijlbuisconstructie						
Stijgbuis m- mv	Diam. mm	Materiaal	Nr.	Filter m - mv	materiaal	Perf. mm
00.00-17.00	33	pvc	1	17.00-19.00	pvc	0.5
00.00-22.00	33	pvc	2	22.00-25.00	pvc	0.5

**Schijf Grondboringen B.V.**

	Formulier	Doc.code:	<b>OPR</b>
	Opleverrapportage	Pagina:	4 / 4
		Datum:	16-07-10
		Versie:	1.0

<b>Plaats</b>	<b>Rotterdam</b>		
<b>Locatie</b>	<b>Sparta Stadion</b>		
<b>Uitvoeringsperiode</b>	<b>15-3-2018</b>		
<b>Boringnummer/code</b>	<b>B2/OWB</b>		
<b>Boorsyst./diam.</b>	<b>zuigboring/ø500</b>		
<b>Opdrachtgever</b>	<b>KWR</b>		
<b>Boormeester</b>	<b>M Schijf</b>		
<b>Einddiepte</b>	<b>27.00</b>		
<b>Hulp-boormeester</b>	<b>M Elings</b>		
<b>Boorspoeling / additieven</b>	<b>0</b>	<b>Hoeveelheid werkwater</b>	<b>14m³</b>
<b>XY-coördinaten</b>	<b>0</b>		

<b>Kleiafdichting</b>			
kleiafdichting 300	00.90-02.80	kleiafdichting 300	19.10-19.50
grind 1-1.6	02.80-03.60	grind 1-1.6	19.50-27.00
kleiafdichting 300	03.60-05.60		
grind 1-1.6	05.60-07.10		
kleiafdichting 300	07.10-08.20		
grind 1-1.6	08.20-09.70		
kleiafdichting 300	09.70-10.70		
grind 1-1.6	10.70-11.90		
kleiafdichting 300	11.90-12.70		
grind 1-1.6	12.70-13.50		
kleiafdichting 300	13.50-14.50		
grind 1-1.6	14.50-15.00		
kleiafdichting 300	15.00-16.00		
grind 1-1.6	16.00-19.10		

<b>Grondwaterinformatie</b>				
m-mv	0.40		PH / EC	
m-mv			PH / EC	
m-mv			PH / EC	
m-mv			PH / EC	
m-mv			PH / EC	

## Bijlage III Kwaliteit hemelwater (vóór het zandfilter)

Parameter	Eenheid	Norm IB / WCB <sup>1</sup>	Operationele norm	Achtergrond (Gem. WVP1): Tabel 3-4	Ronde 1	Ronde 2	Ronde 3	Ronde 4	Ronde 5	Ronde 6	Ronde 7	Ronde 8	Ronde 9	Ronde 10	Ronde 11
					27/9/18	11/10/18	30/10/18	12/11/18	18/12/18	28/1/19	26/2/19	28/3/19	24/4/19	16/5/19	1/7/19
EC (veld)	uS/cm	-	-	4135	743	1064	832	1009	554	604	802	516	726	847	1022
pH (veld)	-	-	-	6,8	7,3	6,9	7,3	6,5	6,7	6,5	7,5	7,5	7,3	7,5	7,3
Temperatuur (pH, veld)	°C	-	-	16,8	18	17	13	13	10,6	8	8	10	13	12	20
Troebelheid (veld)	NTU	-	1	-	6,48	20,5	6,1	10,2	7,47	12,19	10,74	11,03	23	9,2	8,51
Zuurstof (veld)	mg/l	-	-	-	2,83	2,97	5,72	1,51	3,78	3,85	2,42	2,72	1,25	1,31	1,17
Opgeloste stof	mg/l	0,5	0,1	-	6,3	5,6	2,8	5	9	<1	2,9	4,9	7,9	12	5,4
<b>Macrochemie</b>															
Cl	mg/l	100	-	1110	140	200	170	160	52	69	54	39	72	120	160
Na	mg/l	120	-	558	86	120	92	90	33	43	36	26	47	71	180
Ca	mg/l	-	-	180	41	57	41	63	53	63	84	68	88	81	94
K	mg/l	-	-	16	7	9,6	7,4	8,2	5,6	4,3	4,3	3,4	6,1	6,7	9,3
Mg	mg/l	-	-	75	13	19	14	15	6,9	9,0	9,7	7,3	11	13	18
Fe (totaal / opgelost)	µg/l	-	10	11875	1100 / 960	1300 / 1300	700 / 670	2300 / 2100	2000 / 2200 <sup>4</sup>	830 / 650	530 / -	1100 / -	2200 / -	3500 / -	1300 / -
Mn	µg/l	-	-	1073	190	370	210	500	430	550	600	430	690	690	610
HCO <sub>3</sub>	mg/l	-	-	738	180	180	120	200	200	190	250	200	280	270	250
NH <sub>4</sub>	mg N/l	2,5	-	21	0,49	0,58	0,60	1,1	0,78	0,83	1,1	0,81	1,7	2,3	1,2
NO <sub>3</sub>	mg N/l	11,3 <sup>2</sup>	-	<0,05	0,25	0,20	0,29	<0,05	0,12	0,13	0,13	0,25	0,12	0,14	<0,05
Totaal PO <sub>4</sub>	mg P/l	6,9 <sup>2</sup>	-	0,18 <sup>3</sup>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	0,08	0,23	0,3	0,34
SO <sub>4</sub>	mg/l	-	-	<30	41	53	39	38	<30	37	41	37	35	30	61
Totale hardheid	meq/l	-	-	15,3	3,2	4,4	3,2	4,4	3,2	3,9	5,0	4,0	5,3	5,1	6,2
DOC	mg C/l	-	2	-	5,9	10	5,3	8,4	11,0	5,7	14	11	9,2	18	11
<b>Zware metalen</b>															
As	µg/l	18,7 <sup>2</sup>	-	-	<5	<5	<5	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
Ba	µg/l	500 <sup>2</sup>	-	-	36	51	35	50	36	42	41	42	53	65	77
Cd	µg/l	0,35 <sup>2</sup>	-	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Co	µg/l	0,7	-	-	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Cu	µg/l	1,3	-	-	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	µg/l	0,01	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02
Pb	µg/l	7,4 <sup>2</sup>	-	-	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	µg/l	3,6	-	-	<2	<2	<2	<2	2,8	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Ni	µg/l	20 <sup>2</sup>	-	-	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Zn	µg/l	65 <sup>2</sup>	-	-	160	76	170	200	140	220	120	170	52	110	26
<b>Organische parameters</b>															
Naftaleen	µg/l	0,01	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	0,15	<0,05	<0,05
Fenantreen	µg/l	0,003	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,29	<0,01	<0,01
Antraceen	µg/l	0,0007	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	<0,01
Fluorantheen	µg/l	0,003	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,86	<0,01	<0,01
Chryseen	µg/l	0,003	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,38	<0,01	<0,01
Benzo(a)antraceen	µg/l	0,0001	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,49	<0,01	<0,01
Benzo(a)pyreen	µg/l	0,0005	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,52	<0,01	<0,01
Benzo(k)fluorantheen	µg/l	0,0004	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,26	<0,01	<0,01
Indeno(1,2,3cd)pyreen	µg/l	0,0004	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,42	<0,02	<0,02
Benzo(ghi)peryleen	µg/l	0,0003	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,41	<0,02	<0,02
Acenaftyleen	µg/l	-	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Acenafteen	µg/l	-	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,56	<0,05	<0,05
Benzo(b)fluorantheen	µg/l	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,55	<0,02	<0,02
Dibenzo(a,h)anthraceen	µg/l	-	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	<0,01
Fluoreen	µg/l	-	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,19	<0,05	<0,05
Pyreen	µg/l	-	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,69	<0,01	<0,01
SOM PAK (EPA)	µg/l	-	-	-	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,29	5,9	0,24	0,24
SOM PAK (10)	µg/l	-	-	-	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,16	3,8	0,11	0,11
Benzeen	µg/l	0,2	-	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Ethylbenzeen	µg/l	4	-	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Tolueen	µg/l	7	-	-	<0,2	<0,2	1,1	0,3	<0,2	0,6	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,3
o-xyleen	µg/l	-	-	-	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
xyleen (m+p)	µg/l	-	-	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,4	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
SOM xylenen	µg/l	0,2	-	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
SOM BTEX	µg/l	-	-	-	0,6	0,6	1,6	0,8	0,6	1,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8
Minerale olie	µg/l	50 <sup>2</sup>	-	-	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
<b>Bestrijdingsmiddelen</b>															
AMPA	µg/l	<0,1 <sup>2</sup>	-	-	<1	<1	<1	<1	0,03	<0,01	0,03	0,02	0,05	0,05	0,14
Glyfosaat	µg/l	<0,1 <sup>2</sup>	-	-	<1	<1	<1	<1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Glufosinaat	µg/l	<0,1 <sup>2</sup>	-	-	<1	<1	<1	<1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Microbiologie</b>															
E. coli	cfu/100 mL	-	-	-				n.a.	6	200	100	26	14	36	48
Kiemen 37 °C	cfu/mL	-	-	-					250	630	<10	640	>3000	650	1450
Enterococci	cfu/100 mL	-	-	-					<1	100	<100	18	10	18	1

<sup>1</sup> De normen/streefwaarden van 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> Bij de berekening van het gemiddelde zijn waarden <0,05 mg P/L aangenomen als 0,025 mg P/L.<sup>4</sup> Concentratie opgelost ijzer is hoger dan totaal ijzer.

## Bijlage IV Kwaliteit infiltratiewater (ná het zandfilter)

Parameter	Eenheid	Norm IB / WCB <sup>1</sup>	Operationele norm	Achtergrond (Gem. WVP1): Tabel 3-4	Ronde 1 27/9/18	Ronde 2 11/10/18	Ronde 3 30/10/18	Ronde 4 12/11/18	Ronde 5 18/12/18	Ronde 6 28/1/19	Ronde 7 26/2/19	Ronde 8 28/3/19	Ronde 9 24/4/19	Ronde 10 16/5/19	Ronde 11 1/7/19
<b>Macrochemie</b>															
EC (veld)	uS/cm	-	-	4135	745	1009	1086	1071	406	653	724	488	705	700	103
pH (veld)	-	-	-	6,8	7,3	7,0	7,3	6,6	6,8	6,6	7,5	7,3	6,9	7,7	7,3
Temperatuur (pH, veld)	°C	-	-	16,8	18	17	12	14	9,3	7	9	12,1	17,8	12	21
Troebelheid (veld)	NTU	-	1	-	8,86	9,28	2,7	2,13	2,57	2,92	1,75	1,97	4,98	4,18	3,73
Zuurstof (veld)	mg/l	-	-	-	4,24	6,89	1,79	1,46	3,85	1,46	1,53	1,33	1,63	1,25	3,28
Onopgeloste stof	mg/l	0,5	0,1	-	6,7	3,6	1,2	3,4	3,3	1,6	2,1	1,5	1,9	2,3	1,7
Cl	mg/l	100	-	1110	140	200	210	220	52	71	52	36	63	88	150
Na	mg/l	120	-	558	84	120	120	120	30	45	34	25	40	55	110
Ca	mg/l	-	-	180	43	56	62	64	41	72	82	65	87	75	88
K	mg/l	-	-	16	8	9,3	9,4	9,8	3,4	5,1	4,2	3,2	5,2	5,2	8,3
Mg	mg/l	-	-	75	12	18	19	19	6,5	10	9,4	6,8	9,9	11	15
Fe (totaal / opgelost)	µg/l	-	10	11875	1500 / 1200	230 / 180	190 / 150	1900 / 1400	1800 / 1700	60 / 43	37 / -	380 / -	34 / -	200 / -	92 / -
Mn	µg/l	-	-	1073	230	360	290	430	260	28	180	230	61	220	210
HCO <sub>3</sub>	mg/l	-	-	738	170	170	180	180	130	210	250	190	250	230	240
NH <sub>4</sub>	mg N/l	2,5	-	21	0,28	0,50	0,36	0,98	0,13	0,71	0,79	0,61	0,07	0,72	0,62
NO <sub>3</sub>	mg N/l	11,3 <sup>2</sup>	-	<0,05	0,25	<0,05	0,098	0,064	<0,05	<0,05	0,063	0,085	1,1	1,1	0,15
Totaal PO <sub>4</sub>	mg P/l	6,9 <sup>2</sup>	-	0,18 <sup>3</sup>	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,06	0,08	0,15
SO <sub>4</sub>	mg/l	-	-	<30	43	52	58	48	<30	40	40	31	39	33	58
Totale hardheid	meq/l	-	-	15,3	3,2	4,3	4,7	4,8	2,6	4,4	4,9	3,8	5,2	4,7	5,6
DOC	mg C/l	-	2	-	6,6	9,7	7,9	9,0	<5,0	5,2	6,6	10	11	17	10
<b>Zware metalen</b>															
As	µg/l	18,7 <sup>2</sup>	-	-			<5	6,5	5,0	<4	<4	<4	<4	<4	<4
Ba	µg/l	500 <sup>2</sup>	-	-	29	45	44	44	18	38	33	38	53	40	45
Cd	µg/l	0,35 <sup>2</sup>	-	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Co	µg/l	0,7	-	-	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Cu	µg/l	1,3	-	-	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	9,9
Hg	µg/l	0,01	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	0,03
Pb	µg/l	7,4 <sup>2</sup>	-	-	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	µg/l	3,6	-	-	<2	<2	<2	<2	63	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Ni	µg/l	20 <sup>2</sup>	-	-	<5	<5	<5	11	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Zn	µg/l	65 <sup>2</sup>	-	-	<20	22	21	44	<20	49	76	55	80	34	84
<b>Organische parameters</b>															
Naftaleen	µg/l	0,01	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	<0,05	<0,05	<0,05
Fenantreen	µg/l	0,003	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Antraceen	µg/l	0,0007	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluorantheen	µg/l	0,003	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Chryseen	µg/l	0,003	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(a)antraceen	µg/l	0,0001	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(a)pyreen	µg/l	0,0005	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(k)fluorantheen	µg/l	0,0004	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Indeno(1,2,3cd)pyreen	µg/l	0,0004	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Benzo(ghi)peryleen	µg/l	0,0003	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Acenaftyleen	µg/l	-	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Acenafteen	µg/l	-	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Benzo(b)fluorantheen	µg/l	-	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Dibenzo(a,h)anthraceen	µg/l	-	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoreen	µg/l	-	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Pyreen	µg/l	-	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
SOM PAK (EPA)	µg/l	-	-	-	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,29	0,24	0,24	0,24
SOM PAK (10)	µg/l	-	-	-	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,16	0,11	0,11	0,11
Benzeen	µg/l	0,2	-	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Ethylbenzeen	µg/l	4	-	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Tolueen	µg/l	7	-	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
o-xyleen	µg/l	-	-	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
xyleen (m+p)	µg/l	-	-	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
SOM xylenen	µg/l	0,2	-	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
SOM BTEX	µg/l	-	-	-	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Minerale olie	µg/l	50 <sup>2</sup>	-	-			<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
<b>Bestrijdingsmiddelen</b>															
AMPA	µg/l	<0,1 <sup>2</sup>	-	-	<1	<1	<1	<1	0,05	<0,01	0,04	0,01	0,05	0,04	0,09
Glyfosaat	µg/l	<0,1 <sup>2</sup>	-	-	<1	<1	<1	<1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Glufosinaat	µg/l	<0,1 <sup>2</sup>	-	-	<1	<1	<1	<1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Microbiologie</b>															
E. coli	cfu/100 mL	-	-	-				n.a.	4	<100	200	27	10	11	>80
Kiemen 37 °C	cfu/mL	-	-	-					950	140	320	59	>3000	480	>3000
Enterococci	cfu/100 mL	-	-	-					20	<100	<100	7	10	4	>80

<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> Bij de berekening van het gemiddelde zijn waarden <0,05 mg P/L aangenomen als 0,025 mg P/L.

## Bijlage V Grondwaterstand en -kwaliteit

Datum	Parameter	GW-stand	GW-stand	pH-veld	T-veld	EC-veld	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	NH <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	hardheid	troebelheid	O <sub>2</sub>	BE
	Eenheid	m t.o.v. mv	m t.o.v. NAP	-	°C	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	mg/L	mg/L	mg/L N	mg/L P	mg/L N	mg/L	mg/L	mg/L	meq/L	NTU	mg/L	meq/L
<b>Bron (17 - 19 m-mv)</b>																						
15-5-2018		-0,46	-1,44	6,7	15,8	2930	150	1,3	13	49	910	340	23	<0,05	<0,05	790	560	<30	12	1,56	0,48	2,2
12-11-2018																						
14-1-2019																						
29-1-2019		0,03	-0,95	6,7	11	559	53	2,1	3,2	15	210	36	2	<0,05	<0,05	190	59	<30	3,9	3,15		1,1
11-2-2019		-0,39	-1,37	6,8	12	575	53	1,3	3,2	15	210	37	2	0,05	<0,05	200	50	28	3,9	3,16	0,56	1,4
26-2-2019		-0,29	-1,27	7,6	12	571	54	0,018	3,2	15	190	37	2,1	0,07	<0,05	200	61	29	3,9	4,87	0,44	1,1
29-3-2019		-0,41	-1,39	7,3	13	634	62	0,021	3,8	16	220	41	1,1	<0,05	0,053	220	67	38	4,4	9,99	0,85	1,2
24-4-2019		-0,51	-1,49	7,4	13	659	64	2,1	3,6	14	220	39	1,1	<0,05	<0,05	230	55	35	4,4	2,81	0,68	1,3
16-5-2019		-0,61	-1,59	7,5	13	609	68	2,6	3,8	13	220	39	0,88	0,05	<0,05	260	56	35	4,5	175	0,28	1,2
1-7-2019		-0,36	-1,34	7,3	15	1002	81	1,9	5,3	15	270	99	1,0	<0,05	<0,05	300	140	10	5,3	3,98	1,11	1,4
<b>PB2A (1,5 - 3,5 m-mv; freatisch)</b>																						
30-10-2018		-1,5	-2,7	6,7	16	1385	140	16,0	6,9	24	1800	75	11	1,1	<0,05	<6	1900	<30	8,8	29,8	0,29	-52,0
<b>PB1.2 (20-21 m-mv)</b>																						
15-5-2018		-0,44	-1,67	6,7	13,7	3180	140	11	14	57	1200	400	23	0,06	<0,05	670	780	<30	12	1,63	0,51	-1,1
12-11-2018		-0,39	-1,62	7,1	13	1077	59	2,4	5,7	19	340	110	7,2	0,07	<0,05	210	190	45	4,5	3,31	0,89	0,8
14-1-2019		-0,30	-1,53		12	490	47	1,4	5,2	13	200	29	0,81	<0,05	<0,05	180	41	<30	3,4	7,68	0,47	1,2
29-1-2019		-0,07	-1,3	6,6	12	611	65	1,7	5,8	14	190	40	0,54	<0,05	<0,05	210	64	37	4,4	2,86	0,54	1,1
11-2-2019		-0,38	-1,61	7,1	11	673	69	1,8	5,9	13	190	42	0,49	<0,05	<0,05	230	63	38	4,5	4,64	0,54	1,1
26-2-2019		-0,27	-1,5	7,8	11	639	72	1,8	5,1	12	210	44	0,43	<0,05	<0,05	210	70	37	4,6	2,22	0,52	0,9
29-3-2019		-0,35	-1,58	7,3	11	611	77	1,7	4,6	11	230	34	0,37	<0,05	<0,05	240	50	39	4,8	2,76	0,43	1,0
24-4-2019		-0,34	-1,57	7,4	13	605	73	1,6	4,6	9,9	230	33	0,39	<0,05	<0,05	250	49	34	4,5	9,13	0,89	0,9
16-5-2019		-0,48	-1,71	7,2	13	512	64	1,5	4,4	9,4	230	30	0,44	<0,05	<0,05	230	38	30	4,0	4,93	0,57	1,0
1-7-2019		-0,34	-1,57	7,5	14	1035	77	1,5	8,2	14	390	110	2,7	0,14	<0,05	290	150	12	5,0	3,8	0,76	1,0
<b>PB1.3 (23-24 m-mv)</b>																						
15-5-2018		-0,47	-1,7	6,9	13,6	5440	170	8,5	24	120	1500	780	22	0,62	<0,05	830	1500	<30	18	2	0,38	-0,9
12-11-2018		-0,51	-1,74	7,1	13	2780	95	3,0	16	57	690	380	15	1	<0,05	29	740	<30	9,5	3,2	0,53	-0,3
14-1-2019		-0,53	-1,76	7,3	12	1413	63	2,1	9,6	36	490	180	6	0,79	<0,05	330	310	<30	6,1	3,63	0,46	1,1
29-1-2019		-0,32	-1,55	6,8	11	1706	68	2,4	11	37	510	200	8,5	0,68	<0,05	360	340	<30	6,5	1,77	0,32	1,1
11-2-2019		-0,16	-1,39	6,9	10	1443	73	2,9	13	41	680	260	10	0,95	<0,05	410	410	24	7,1	3,58	0,53	2,0
26-2-2019		-0,39	-1,62	7,7	11	1182	74	2,0	7	25	380	130	4,1	0,07	<0,05	310	200	38	5,8	2,65	0,47	1,1
29-3-2019		-0,42	-1,65	7,3	12	545	53	1,2	4,6	14	270	36	2,4	0,09	<0,05	210	52	26	3,9	4,3	0,65	1,3
24-4-2019		-0,33	-1,56	7,4	13	585	130	3,6	11	50	710	320	3,2	0,12	<0,05	240	160	28	11	7,18	0,9	13,3
16-5-2019		-0,32	-1,55	7,2	13	3830	210	5,9	15	66	1200	510	10	<0,05	<0,05	650	940	9,5	16	25,6	0,57	-0,9
1-7-2019		-0,56	-1,79	7,1	16	2090	80	1,3	7,8	32	470	180	5,0	0,44	<0,05	260	180	17	6,6	4,56	0,43	5,2
<b>PB1.4 (26-27 m-mv)</b>																						
15-5-2018		-0,47	-1,7	6,9	14,2	5330	260	15	13	75	680	710	16	<0,05	<0,05	660	1600	<30	19	3,49	0,5	-11,0
12-11-2018		-0,50	-1,73	7,2	13	5090	280	14	13	73	680	660	17	<0,05	0,074	660	1400	<30	20	4,28	0,76	-7,3
14-1-2019		-0,58	-1,81	7	12	5600	270	13	14	76	720	740	17	<0,05	<0,05	670	1500	<30	20	3,04	0,4	-6,3
29-1-2019		-0,36	-1,59	6,7	11	5640	250	11	14	79	700	770	17	<0,05	<0,05	730	1500	<30	19	2,28	0,49	-5,0
11-2-2019		-0,17	-1,4	7	11	5650	260	12	14	77	740	820	16	0,07	<0,05	710	1500	<1	20	3,7	0,49	-3,8
26-2-2019		-0,45	-1,68	7,2	12	5600	260	12	14	79	670	870	17	<0,05	<0,05	710	1500	59	20	2,32	0,39	-0,8
29-3-2019		-0,35	-1,58	7	12	5660	250	12	14	83	680	860	20	<0,05	<0,05	750	1600	<1	19	2,48	0,48	-3,8
24-4-2019		-0,39	-1,62	7,1	13	5560	260	11	14	79	640	780	20	<0,05	<0,05	730	1500	<1	19	4,01	0,89	-4,6
16-5-2019		-0,51	-1,74	7,1	13	5450	250	12	14	80	660	780	18	<0,05	<0,05	740	1500	<1	19	3,39	0,64	-4,3
1-7-2019		-0,54	-1,77	7	15	5630	250	11	14	78	680	840	18	<0,05	<0,05	720	1400	<1	19	2,83	0,34	1,0

## Bijlage VI Kwaliteit winwater

Parameter	Eenheid	Norm Sparta Tabel 2-8	Ronde										
			6 28/1/19 Bron	7 26/2/19 Bron	7 26/2/19 Tank	8 28/3/19 Bron	8 28/3/19 Tank	9 24/4/19 Bron	9 24/4/19 Tank	10 16/5/19 Bron	10 16/5/19 Tank	11 1/7/19 Bron	11 1/7/19 Tank
<b>Fysische parameters</b>													
EC (veld)	uS/cm	-	665	716		514		590		656		703	
pH (veld)	-	-	6,8	7,5		7,4		7,5		7,6		7,3	
Temperatuur (pH, veld)	°C	-	8	9		10		12		11		19	
Troebelheid (veld)	NTU	-	1,24	6,22		3,21		5,51		6,46		2,69	
Zuurstof (veld)	mg/l	-	1,31	1,44		1,32		1,34		2,23		1,03	
Onopgeloste stof	mg/l	-	<1	5,3		3,9		4,5		7,1		3	
<b>Macrochemie</b>													
Cl	mg/l	-	71	47		38		47		79		94	
Na	mg/l	-	44	34		26		33		48		67	
Ca	mg/l	-	72	80		68		75		75		73	
K	mg/l	-	5,2	4,3		3,8		4,3		5,1		5,3	
Mg	mg/l	-	10	9,4		7,4		8,3		9,4		9,5	
Fe (totaal / opgelost)	µg/l	- / 500	39 / 30	1100 / -		890 / -		850 / -		1600 / -		800 / -	
Mn	µg/l	-	43	200		350		360		480		500	
HCO <sub>3</sub>	mg/l	-	220	250		200		220		240		220	
NH <sub>4</sub>	mg N/l	-	0,68	0,84		0,73		0,74		1		0,61	
NO <sub>3</sub>	mg N/l	-	<0,05	<0,05		0,25		0,082		<0,05		<0,05	
Totaal PO <sub>4</sub>	mg P/l	-	<0,05	0,12		0,08		0,08		0,13		0,12	
SO <sub>4</sub>	mg/l	-	41	35		30		33		33		32	
Totale hardheid	meq/l	3	4,5	4,8		4		4,5		4,5		4,4	
DOC	mg C/l	-	5,5	14		10		7,6		18		7,4	
<b>Zware metalen</b>													
As	µg/l	-	<4	6,2		<4		4,1		5,6		<4	
Ba	µg/l	-	42	31		28		41		63		41	
Cd	µg/l	-	<1	<1		<1		<1		<1		<1	
Co	µg/l	-	<2	<2		<2		<2		<2		<2	
Cu	µg/l	-	<5	<5		<5		<5		<5		<5	
Hg	µg/l	-	<0,02	<0,02		<0,02		0,02		<0,03		0,02	
Pb	µg/l	-	<5	<5		<5		<5		<5		<5	
Mo	µg/l	-	2,2	<2		<2		<2		<2		<2	
Ni	µg/l	-	<5	9,3		<5		<5		<5		<5	
Zn	µg/l	-	37	<20		<20		<20		34		<20	
<b>Organische parameters</b>													
Naftaleen	µg/l	-	<0,05	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05		<0,05	
Fenantreen	µg/l	-	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	
Antraceen	µg/l	-	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	
Fluorantheen	µg/l	-	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	
Chryseen	µg/l	-	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	
Benzo(a)antraceen	µg/l	-	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	
Benzo(a)pyreen	µg/l	-	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	
Benzo(k)fluorantheen	µg/l	-	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	
Indeno(1,2,3cd)pyreen	µg/l	-	<0,02	<0,02		<0,02		<0,02		<0,02		<0,02	
Benzo(ghi)peryleen	µg/l	-	<0,02	<0,02		<0,02		<0,02		<0,02		<0,02	
Acenaftyleen	µg/l	-	<0,05	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05		<0,05	
Acenafteen	µg/l	-	<0,05	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05		<0,05	
Benzo(b)fluorantheen	µg/l	-	<0,02	<0,02		<0,02		<0,02		<0,02		<0,02	
Dibenzo(a,h)anthraceen	µg/l	-	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	
Fluoreen	µg/l	-	<0,05	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05		<0,05	
Pyreen	µg/l	-	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	
SOM PAK (EPA)	µg/l	-	0,24	0,24		0,24		0,24		0,24		0,24	
SOM PAK (10)	µg/l	-	0,11	0,11		0,11		0,11		0,11		0,11	
Benzeen	µg/l	-	<0,2	<0,2		<0,2		<0,2		<0,2		<0,2	
Ethylbenzeen	µg/l	-	<0,2	<0,2		<0,2		<0,2		<0,2		<0,2	
Tolueen	µg/l	-	<0,2	<0,2		<0,2		<0,2		<0,2		<0,2	
o-xyleen	µg/l	-	<0,1	<0,1		<0,1		<0,1		<0,1		<0,1	
xyleen (m+p)	µg/l	-	<0,2	<0,2		<0,2		<0,2		<0,2		<0,2	
SOM xylenen	µg/l	-	0,2	0,2		0,2		0,2		0,2		0,2	
SOM BTEX	µg/l	-	0,6	0,6		0,6		0,6		0,6		0,6	
Minerale olie	µg/l	-	<50	<50		<50		<50		<50		<50	
<b>Bestrijdingsmiddelen</b>													
AMPA	µg/l	-	<0,01	0,08		0,05		0,05		0,05		0,12	
Glyfosaat	µg/l	-	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	
Glufosinaat	µg/l	-	<0,01	<0,01		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	
<b>Microbiologie</b>													
E. coli	cfu/100 mL	0	<100	<100	<100	36	4	1	1	<1	6	3	<1
Kiemen 37 °C	cfu/mL	500	10	120	<10	240	54 (aeroob)	45	42	60	37	230	>3000
Enterococcen	cfu/100 mL	0	<100	<100	<100	5	1	<1	<1	<1	<1	5	<1

## Bijlage VII Extra microbiologische analyse winwater

Parameter	Eenheid	Norm Sparta Tabel 2-8	Ronde			
			12 3/7/19 Bron	13 5/7/19 Bron	14 9/7/19 Bron	15 12/7/19 Bron
<i>E. coli</i>	cfu/100 mL	0	2	<1	<1	<1
Kiemen 37 °C	cfu/mL	500	35	76	83	320
Enterococcen	cfu/100 mL	0	2	1	3	<1

# Bijlage VIII QMRA Campylobacter

## QMRAspot: Campylobacter\_07092019

### General

Quantitative Microbial Risk Assessment from surface water to potable water	
QMRAspot version: 2.4 (April 30, 2019; updated to Mathematica 12.0.0)	
Mathematica version: 12.0.0 for Microsoft Windows (64-bit) (April 22, 2019)	
Run date	Sat 7 Sep 2019 12:45:25
Data directory	
QMRA data Excel file	No file selected
Index pathogen	<b>Campylobacter</b>

### Drinking water utility

Utility	
Location	
Source water	Source water
Treatment	Indicator Data source
z1: z1	E. coli Distribution parameters set
Consumption (liter/person/day)	Other

### Summary Table QMRA results

Campylobacter 07092019								
QMRA-step	Dimension	Par1	Par2	Mean	5%	50%	95%	Point Estimate
Source concentration	N/L	10.	20.	200.	110.	190.	310.	200.
z1	fraction	100.	900.	0.1	0.085	0.1	0.12	0.1
Total treatment	fraction			0.1	0.085	0.1	0.12	0.1
Drinking water concentration	N/L			20.	10.	19.	32.	20.
Consumption	L/person/day			0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Exposure	W/person/day			0.1	0.052	0.096	0.16	0.1
Infection risk	/person/day			0.051	≤10 <sup>-9</sup>	0.033	0.11	
Infection risk	/person/year							

QMRA-step	Dimension	Log <sub>10</sub> :	Mean	5%	50%	95%	Point Estimate
Source concentration	N/L		2.3	2.	2.3	2.5	2.3
z1	fraction		-1.	-1.1	-1.	-0.94	-1.
Total treatment	fraction		-1.	-1.1	-1.	-0.94	-1.
Drinking water concentration	N/L		1.3	1.	1.3	1.5	1.3
Consumption	L/person/day		-2.3	-2.3	-2.3	-2.3	-2.3
Exposure	W/person/day		-1.	-1.3	-1.	-0.8	-1.
Infection risk	/person/day		-1.3	-	-1.2	-0.95	
Infection risk	/person/year						

### Source concentration

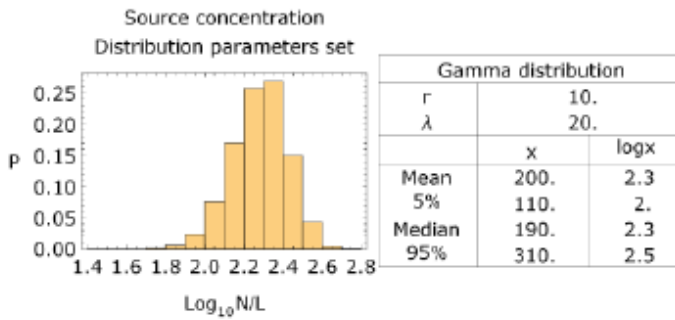
Campylobacter-Source water

Timeplot of measured concentrations

"Source concentration": "No data"



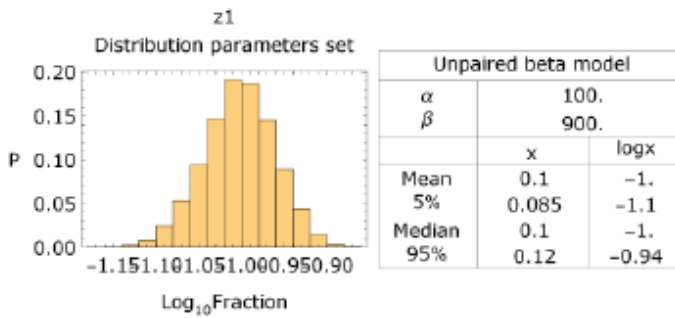
### Histogram of Monte Carlo samplings of source water concentrations



## z1

E. coli-z1

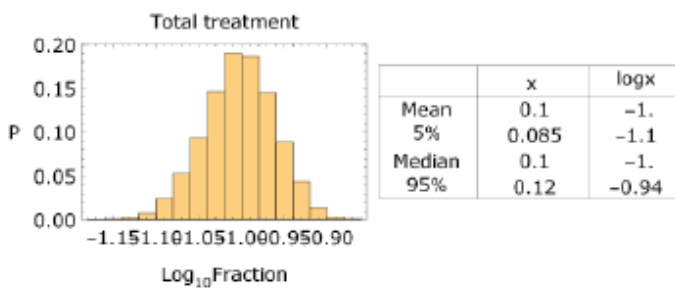
### Histogram of Monte Carlo samplings of treatment distribution



## Total treatment

Histogram of total treatment

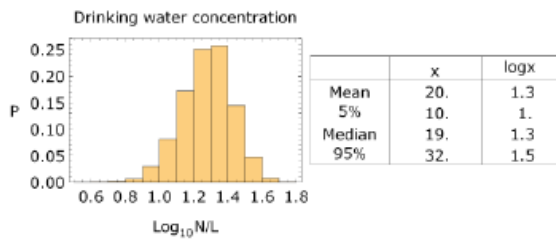
from multiplying Monte Carlo data of all treatment steps



## Drinking water concentration

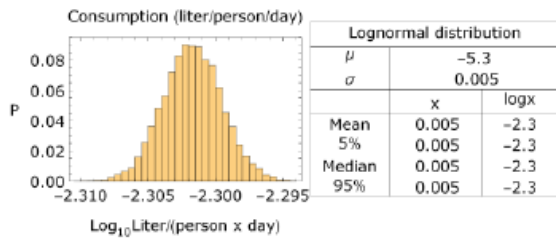
Campylobacter-Histogram of drinking water concentrations

from multiplying Monte Carlo data of source water and treatment data



## Consumption (liter/person/day)

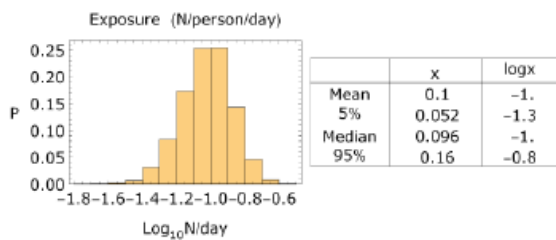
Histogram of Monte Carlo samplings of unboiled drinking water consumption data of Other



## Exposure (N/person/day)

Campylobacter–Histogram of exposure

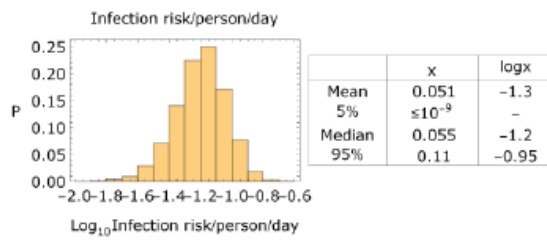
from multiplying Monte Carlo data of drinking water concentrations and consumption data



## Infection risk/person/day

Histogram of infection risk per person per day

from multiplying Monte Carlo data of exposure and dose response data



---

## Infection risk/person/year

Infection risk >0.9

---

## Reference

Schijven JF, Teunis PFM, Bouwknegt M, Rutjes SA, Roda Husman AM de.

QMRAspot: A Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from Surface Water to Potable Water

Water Research, 2011, 45(17):5564–5576.

Schijven JF, Rutjes SA, Smeets P, Teunis PFM.

QMRAspot: a tool for quantitative microbial risk assessment for drinking water

– Manual QMRAspot version 2.0. RIVM Report 2014–0020

# Bijlage IX QMRA Cryptosporidium

QMRAspot: Cryptosporidium\_07092019

## General

Quantitative Microbial Risk Assessment from surface water to potable water	
QMRAspot version: 2.4 (April 30, 2019; updated to Mathematica 12.0.0)	
Mathematica version: 12.0.0 for Microsoft Windows (64-bit) (April 22, 2019)	
Run date	Sat 7 Sep 2019 13:04:32
Data directory	
QMRA data Excel file	No file selected
Index pathogen	<b>Cryptosporidium</b>

## Drinking water utility

Utility		
Location		
Source water	Source water	
Treatment	Indicator	Data source
z1: z1	Anaerobic spores	Distribution parameters set
Consumption (liter/person/day)	Other	

## Summary Table QMRA results

Cryptosporidium 07092019								
QMRA-step	Dimension	Par1	Par2	Mean	5%	50%	95%	Point Estimate
Source concentration	NL	10.	0.02	0.2	0.11	0.2	0.32	0.2
z1	fraction	10.	90.	0.1	0.036	0.096	0.15	0.1
Total treatment	fraction			0.1	0.056	0.096	0.15	0.1
Drinking water concentration	NL			0.02	0.0065	0.019	0.037	0.02
Consumption	L/person/day			0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Exposure	N/person/day			0.0001	0.000042	0.000093	0.00018	0.0001
Infection risk	/person/day			0.000022	6.4 × 10 <sup>-6</sup>	0.000019	0.000048	
Infection risk	/person/year			0.0081	0.0077	0.0081	0.0085	

QMRA-step	Dimension	Log10:	Mean	5%	50%	95%	Point Estimate
Source concentration	NL		-0.7	-0.96	-0.71	-0.5	-0.7
z1	fraction		-1.	-1.3	-1.	-0.82	-1.
Total treatment	fraction		-1.	-1.3	-1.	-0.82	-1.
Drinking water concentration	NL		-1.7	-2.1	-1.7	-1.4	-1.7
Consumption	L/person/day		-2.3	-2.3	-2.3	-2.3	-2.3
Exposure	N/person/day		-4.	-4.4	-4.	-3.7	-4.
Infection risk	/person/day		-4.7	-5.2	-4.7	-4.3	
Infection risk	/person/year		-2.1	-2.1	-2.1	-2.1	

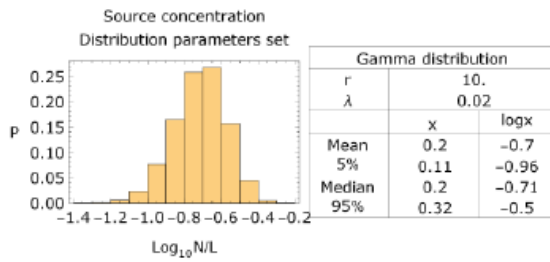
## Source concentration

Cryptosporidium–Source water

Timeplot of measured concentrations

"Source concentration": "No data"

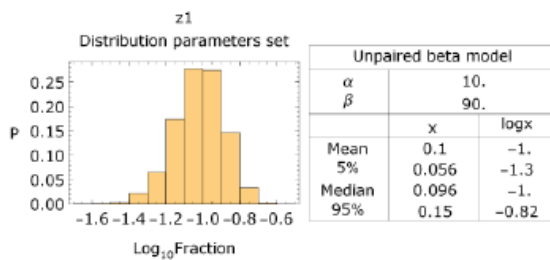
Histogram of Monte Carlo samplings of source water concentrations



## z1

Anaerobic spores-z1

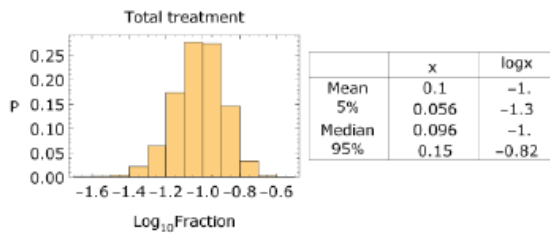
Histogram of Monte Carlo samplings of treatment distribution



## Total treatment

Histogram of total treatment

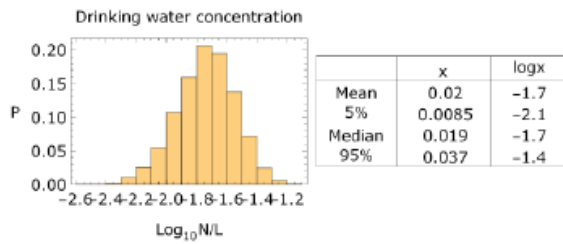
from multiplying Monte Carlo data of all treatment steps



## Drinking water concentration

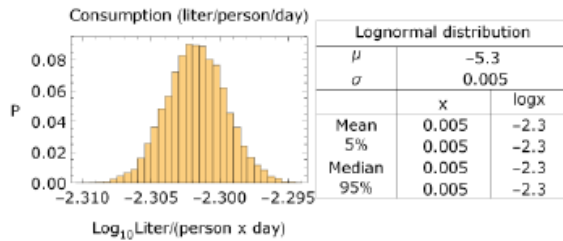
Cryptosporidium-Histogram of drinking water concentrations

from multiplying Monte Carlo data of source water and treatment data



## Consumption (liter/person/day)

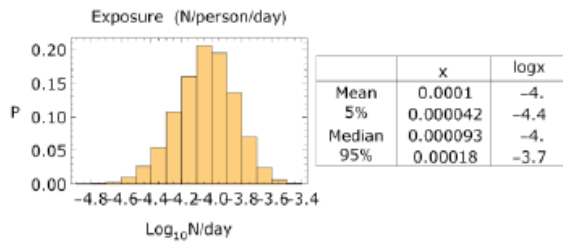
Histogram of Monte Carlo samplings of unboiled drinking water consumption data of Other



## Exposure (N/person/day)

Cryptosporidium–Histogram of exposure

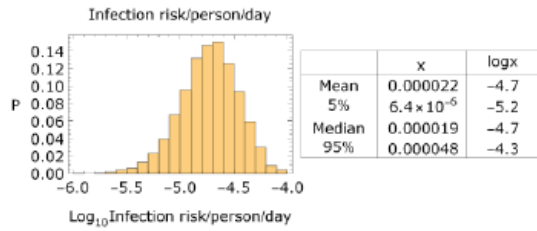
from multiplying Monte Carlo data of drinking water concentrations and consumption data



## Infection risk/person/day

Histogram of infection risk per person per day

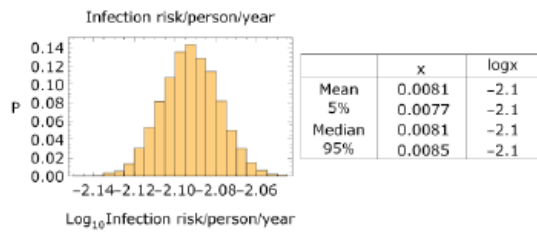
from multiplying Monte Carlo data of exposure and dose response data



## Infection risk/person/year

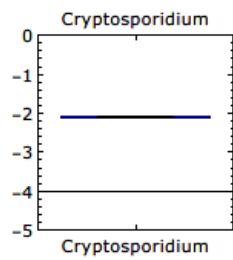
Histogram of infection risk per person per year

from Monte Carlo sampling of data of infection risk per person per day



Box-Whisker plot of infection risk per person per year

Line=mean; Box=quartiles; Whiskers=5- and 95-percentiles



## Reference

Schijven JF, Teunis PFM, Bouwknecht M, Rutjes SA, Roda Husman AM de.

QMRAspot: A Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from Surface Water to Potable Water

Water Research, 2011, 45(17):5564–5576.

Schijven JF, Rutjes SA, Smeets P, Teunis PFM.

QMRAspot: a tool for quantitative microbial risk assessment for drinking water

– Manual QMRAspot version 2.0. RIVM Report 2014–0020