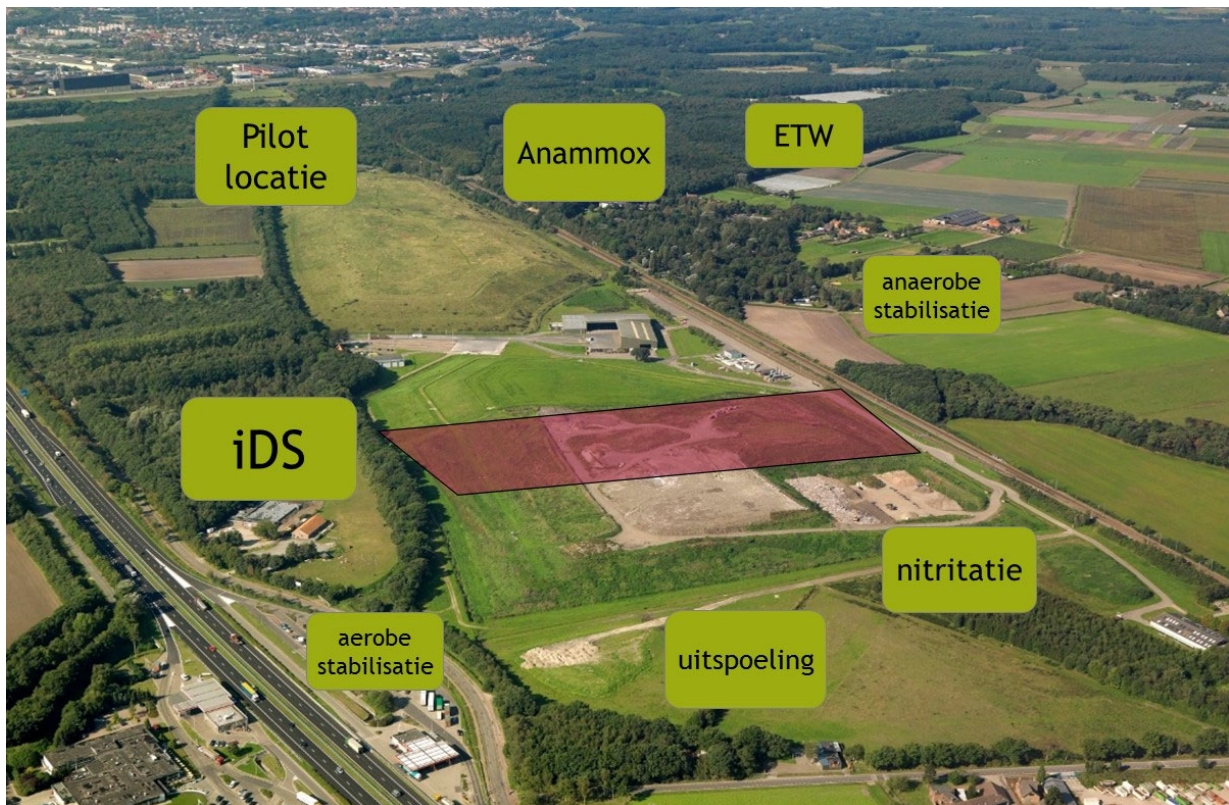


# Voortgangsrapportage iDS Kragge

01-03-2018 tot 01-04-2021



Colofon	
Ons Kenmerk	
Datum	1 september 2021
Auteur	Drs. A.C. Kanen/Ir. S. Kedzia-Kowalski
Toetsing	ir. H. Oonk / Prof. dr. ir. Rob Comans / Prof. dr. ir. T.Heimovaara
Versie	3.1
Status	Definitief

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding en conclusies.....</b>	<b>2</b>
1.1	Achtergrond.....	2
1.1	Conclusies .....	2
<b>2</b>	<b>Uitvoering van de pilot .....</b>	<b>4</b>
2.1	Bouw van het percolaatrecirculatie - realisatie ten opzichte van plan .....	4
2.1.1	<i>Plan</i> .....	4
2.1.2	<i>Realisatie</i> .....	4
2.2	Uitvoering van de percolaatrecirculatie - realisatie ten opzichte van plan	5
2.3	Uitvoering monitoring - realisatie versus plan .....	7
<b>3</b>	<b>Stand van Zaken: resultaat .....</b>	<b>9</b>
3.1	Performance van de waterzuivering .....	9
3.2	Afbraak van organisch materiaal .....	9
3.2.1	<i>Op basis van stortgaswinning</i> .....	9
3.2.2	<i>Op basis van zettingen</i> .....	11
3.2.3.	<i>Analyse van DNA in het onttrokken percolaat</i> .....	12
3.3	Ontwikkeling van percolaat .....	12
3.3.1	<i>Verwijdering van <math>NH_4^+ / N_{kj}</math>, DOC en <math>Cl^-</math></i> .....	12
3.3.2	<i>Biologisch afbreekbare componenten</i> .....	13
3.3.2.1	<i>Stikstof</i> .....	14
3.3.2.2	<i>Dissolved Organic Carbon (DOC)</i> .....	14
3.3.3	<i>Chloride</i> .....	16
3.3.4	<i>Verwachtingen ten aanzien eindresultaat ETW</i> .....	16
3.4	Water in het afvalpakket .....	17
3.5	Functioneren van het RIS systeem .....	19
<b>4</b>	<b>Risico's en risicobeheersing .....</b>	<b>22</b>
4.1	Grondwatermonitoring .....	22
4.2	Diffuse methaanemissies en geur .....	22
4.3	Veiligheid .....	24
4.3.1	<i>Legionella in de waterzuivering</i> .....	24
4.4	Interpretatie en bijsturing .....	24
<b>Bijlage A</b>	<b>Details van aangelegde RIS en waterzuivering .....</b>	<b>26</b>
<b>Bijlage B</b>	<b>Performance van de waterzuiveringen .....</b>	<b>28</b>
<b>Bijlage C</b>	<b>Zware metalen en organische verontreinigingen in percolaat .....</b>	<b>30</b>
<b>Bijlage D</b>	<b>Analyse van waterbalans en waterpeil .....</b>	<b>32</b>
	Waterbalans .....	32
	Waterpeil in het drainagesysteem .....	33
	Peilbuizen in het afvalpakket .....	34
<b>Bijlage E</b>	<b>Indeling van Kragge 2 in 4 compartimenten .....</b>	<b>38</b>
<b>Bijlage F</b>	<b>Aanpassingen RIS na aanleg.....</b>	<b>39</b>

# 1 Inleiding en conclusies

## 1.1 Achtergrond

Sinds maart 2018 wordt een pilot uitgevoerd op compartiment 3 van stortplaats De Kragge 2 in het kader van het project “*Introductie Duurzaam Stortbeheer*” (iDS). De doelstelling van de eerste fase van deze pilot is om te onderzoeken in hoeverre het emissiepotentieel naar bodem en grondwater kan worden gereduceerd. Dit gebeurt door middel van het intensief recirculeren van percolaat en schoon water door het afvalpakket met het Recirculatie-Infiltratie-Systeem (RIS). Het grootste deel van het percolaat wordt voor infiltratie behandeld in een Anammox-reactor, gericht op het verwijderen van stikstof. Het overige percolaat wordt verwerkt in de Nitritatie-reactor waar het infiltraat wordt geoptimaliseerd. Ook wordt verwacht dat er door percolaatrecirculatie een versnelling van de afbraak van organisch materiaal optreedt. Schoon water wordt gebruikt om de inerte zouten zoals chloride uit het afvalpakket te vervangen. De zouten worden afgevoerd naar het riool. Door de verspreide infiltratie over het stortpakket worden optimale condities voor anaerobe afbraak gecreëerd.

Dit voortgangsrapport beschrijft de resultaten van de uitvoering van de iDS pilot na de aanlegfase. De aanlegfase is beschreven in de as-built rapportage. Periode vanaf maart 2018 tot en met maart 2021. In het Deelplan Kragge (DPvA, te downloaden vanaf <https://duurzaamstortbeheer.nl/lezen/>) is vastgelegd hoe de pilot zal worden uitgevoerd en hoe de effecten van de pilot worden gemonitord. Daarbij is ook een verwachting uitgesproken voor de ontwikkeling van biologische afbraak van organisch materiaal in het afvalpakket en concentraties van verschillende componenten in het percolaat.

In deze voortgangsrapportage wordt de voortgang besproken van de pilot. De volgende vier vragen zijn hierbij relevant:

1. In hoeverre is de uitvoering van de pilot Kragge conform het DPvA?
2. In hoeverre is de reactie van het afvalpakket conform de verwachting, uitgesproken in het DPvA?
3. In hoeverre zijn de risico's voor andere milieucompartimenten en veiligheid beheersbaar?
4. In hoeverre heeft de pilot bijsturing nodig?

## 1.1 Conclusies

De belangrijkste conclusies naar aanleiding van de vragen zijn samengevat in

Tabel 1. Na aanvankelijke vertraging tijdens de vergunningsaanvraag, ca. 1 jaar, is de aanleg volgens plan gerealiseerd en worden de metingen conform plan uitgevoerd. De doorlooptijd van 3 jaar is relatief kort voor grote effecten. Inmiddels is al wel een aanzienlijke hoeveelheid  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$  en DOC verwijderd door behandeling van het percolaat en door spui. Ook worden kleine aanwijzingen gesignaleerd, die op een versnelde afbraak impliceren.

Naast deze resultaten zijn er ook uitdagingen. Na een voortvarend begin van de infiltratie van percolaat, bleek na een jaar de snelheid sterk af te nemen. Het noodzakelijke infiltratiedebiet wordt gehaald, maar hiervoor zijn aanvullende inspanningen noodzakelijk geweest. Het infiltratievermogen van de drains wordt beïnvloedt door bacteriegroei in de drains/grindkoffers. De grondkoffer is omgeven door worteldoek. Dit doek heeft door de bacteriegroei een verminderde doorlatendheid. Het worteldoek is middels een avegaar boor vele malen doorboort. Dit had een positief effect op het injecterend vermogen van het systeem.

Tabel 1. Conclusies m.b.t. de voortgang van pilot Kragge

Hstk	Onderwerp	Conclusie
2.1	Implementatie RIS en waterzuivering	RIS en waterzuivering zijn aangelegd, gedurende de looptijd zijn aanpassingen verricht om de werking conform plan te behouden.

2.2	Uitvoering RIS	Er is minder percolaat geïnfilterd dan gepland, doordat de uitstroming van percolaat uit de infiltratiedrains in de loop van de tijd afnam. In 2019 en 2020 is onderzoek uitgevoerd naar de oorzaak, waarna herstelwerkzaamheden zijn uitgevoerd. Nieuwe herstelwerkzaamheden aan RIS staan gepland in zomer 2021.
2.3	Uitvoering monitoring	Monitoring verloopt volgens plan.
3.1	Uitvoering waterzuivering	Na een opstartfase functioneerden zowel de Anammox als Nitritatie goed. Sinds dec 2020 ervaren wij problemen met Nitritatie reactor. Om de doorspoeling te continueren wordt momenteel minder nitriet geïnfilterd en meer suppletiewater.. Onderzoek naar de oorzaak is opgestart. Uit de eerste bevindingen lijkt dit te worden veroorzaakt door een tekort aan nikkel wat de bacteriegroei en dus werking van de zuivering negatief beïnvloedt.
3.2	Effect op afbraak organisch materiaal	De stortgaswinning geeft de eerste indicaties dat de biologische afbraak is toegenomen. Dit wordt ondersteund door DNA-analyses op het vrijgekomen percolaat. Na aanvang van percolaatinfiltratie, neemt de gaswinning minder af dan verwacht. Andere effecten van biologische processen in het afvalpakket zelf, lijken op basis van de concentraties in het percolaat nog beperkt.
3.3	Effect op ontwikkeling in percolaatsamenstelling	Inmiddels is een afname van ongeveer 30% waarneembaar in de concentratie $\text{NH}_4^+$ , $\text{Cl}^-$ en DOC. Deze afname is waarschijnlijk het gevolg van een verwijdering van een substantiële hoeveelheid van deze componenten uit het afvalpakket door uitspoeling. Het verder volgen van de trend in concentraties in de toekomst, zal meer inzicht geven in de mechanismen van verwijdering.
4.1	Veiligheid	In peilbuizen in het afvalpakket werd hoog in het afval vrij water aangetroffen. De risico's voor stortstabiliteit zijn nader bestudeerd en bleken afwezig. In de waterzuivering is in 2020 de legionella bacterie aangetroffen. Er zijn maatregelen getroffen om legionella te vermijden en in 2021 zal opnieuw worden gecontroleerd op aanwezigheid van legionella.
4.2	Neveneffect: Diffuse methaanemissies	Aan de uiteinden van enkele infiltratiedrains is een verhoogde methaanemissie gemeten door kortsluitstromen. Door afdekking van kwetsbare plekken met grond is deze emissie gereduceerd tot de oorspronkelijke emissie waarden.
4.4	Neveneffect: Geuroverlast	Geen bijzonderheden.
4.5	Neveneffect: Grondwaterkwaliteit	Geen bijzonderheden.
5	Bijsturing pilot	Er is continu verhoogde aandacht voor de waterzuivering en het RIS systeem om knelpunten tijdig te signaleren en te verhelpen. Daarnaast is er aanvullende monitoring van peil van vrij water in het afvalpakket voor beheersing van de stortstabiliteit en meer inzicht in waterbalans en doorstroming van het afvalpakket.

Deze voortgangsrapportage is tot stand gekomen door de inhoudelijke bijdragen van zowel de stortplaatexploitant en leden van het Kernteam. De conclusies in Tabel 1 worden onderschreven door het Kernteam.

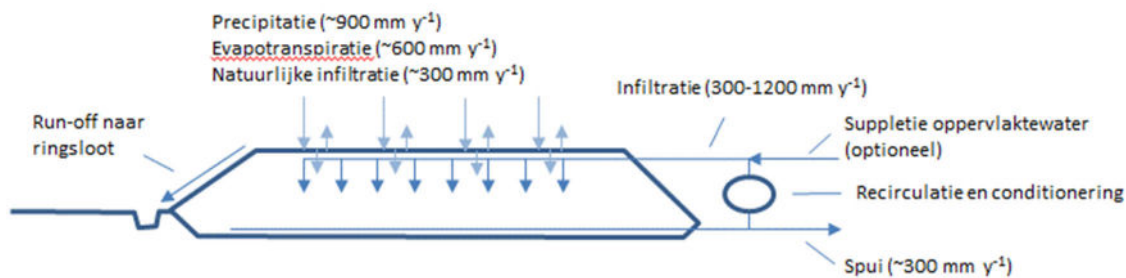
## 2 Uitvoering van de pilot

De pilot op locatie Kragge 2 wordt uitgevoerd op compartiment 3 en is gestart in maart 2018. Dit is een jaar later dan aanvankelijk gepland. Deze vertraging werd veroorzaakt door aanvullende vragen tijdens de vergunningsaanvraag, waardoor de vergunning langer dan gepland op zich heeft laten wachten.

### 2.1 Bouw van het percolaatrecirculatie - realisatie ten opzichte van plan

#### 2.1.1 Plan

In het deelplan van aanpak zijn voor Kragge de argumenten benoemd waarom als hoofdmaatregel gekozen is voor de infiltratie met percolaat aangevuld met schoon water. Het principe van het RIS is overgenomen uit het DPvA en weergegeven in Figuur 1. Bij de infiltratie wordt het vrijkomend percolaat na een waterzuiveringsstap gedeeltelijk weer geïnfiltrteerd in het afvalpakket. De beoogde infiltratie bedraagt 300 tot 1200 mm per jaar. Dit is 2-5 keer zoveel dan het natuurlijke neerslagoverschot, ca. 300 mm per jaar. Voor het reduceren van chloride wordt een gedeelte van het percolaat gespuid op het riool. Dit gedeelte wordt aangevuld met regenwater (van andere compartimenten) of suppletiewater.



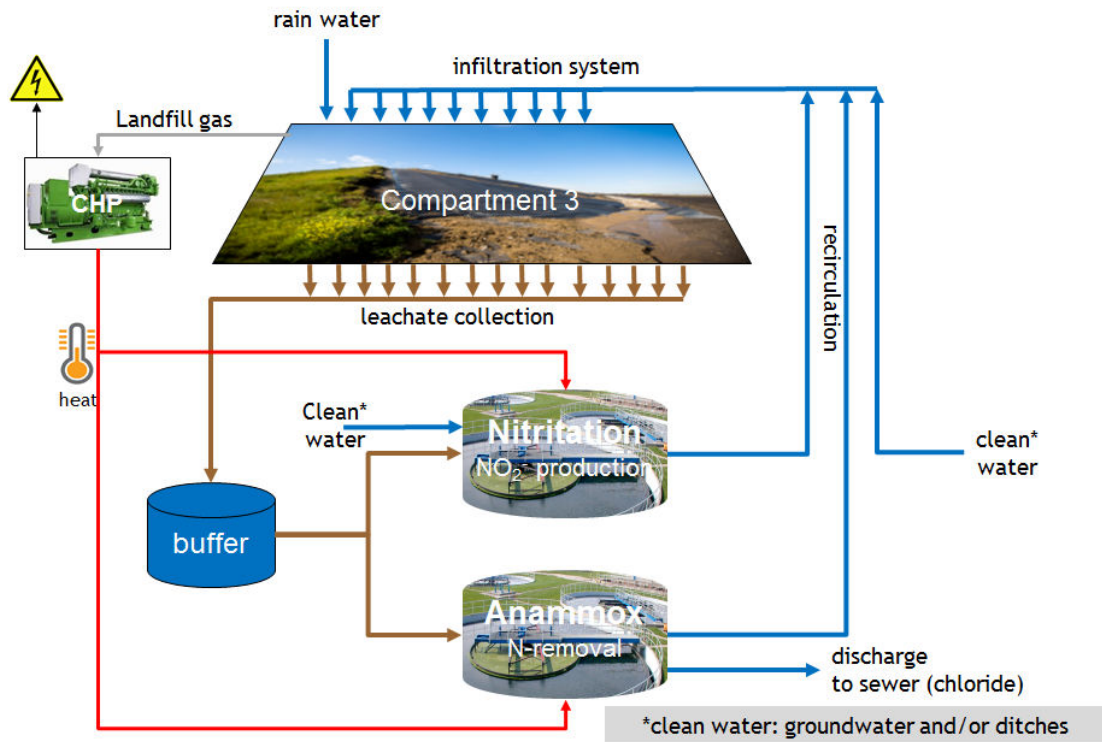
Figuur 1. Waterstromen en geschatte volumes bij infiltratie met recirculatie

#### 2.1.2 Realisatie

Voor de realisatie van de percolaatrecirculatie is een infiltratiesysteem met greppels gerealiseerd waarin drainagebuizen in een grindbedden zijn gelegd. Voor de conditionering van het percolaat is voor de volgende behandeling gekozen:

1. Het overgrote deel (90%) van het percolaat wordt in een Anammox waterzuivering verwerkt waarbij  $\text{NH}_4$  wordt omgezet in stikstofgas  $\text{N}_2$
2. Een deelstroom percolaat wordt in een nitritatiereactor verwerkt waarbij  $\text{NH}_4^+$  wordt omgezet in  $\text{NO}_2^-$ . Door de terugvoer van percolaat met het  $\text{NO}_2^-$  in het stortpakket wordt verwacht dat de Anammox reactie in situ wordt gestimuleerd
3. Inerte componenten zoals  $\text{Cl}^-$  worden uit het stortpakket verwijderd door deze te spuien op het riool en dit water te vervangen door schoon water (direct en via de nitritatiereactor).

In Figuur 2 is het ontwerp van de RIS schematisch weergegeven. Een uitvoerige beschrijving en motivatie van de ontwerpkeuzes zijn in de As-built rapportage gegeven. Hierbij is gebruik gemaakt van ervaringen uit het verleden, zoals in Wijster en Landgraaf. Het geïnstalleerde recirculatie infiltratiesysteem (RIS), detailtekening van de drainagebuis in de grindkoffer en het procesflowdiagram van de waterzuiveringsinstallatie zijn in bijlage A gegeven.

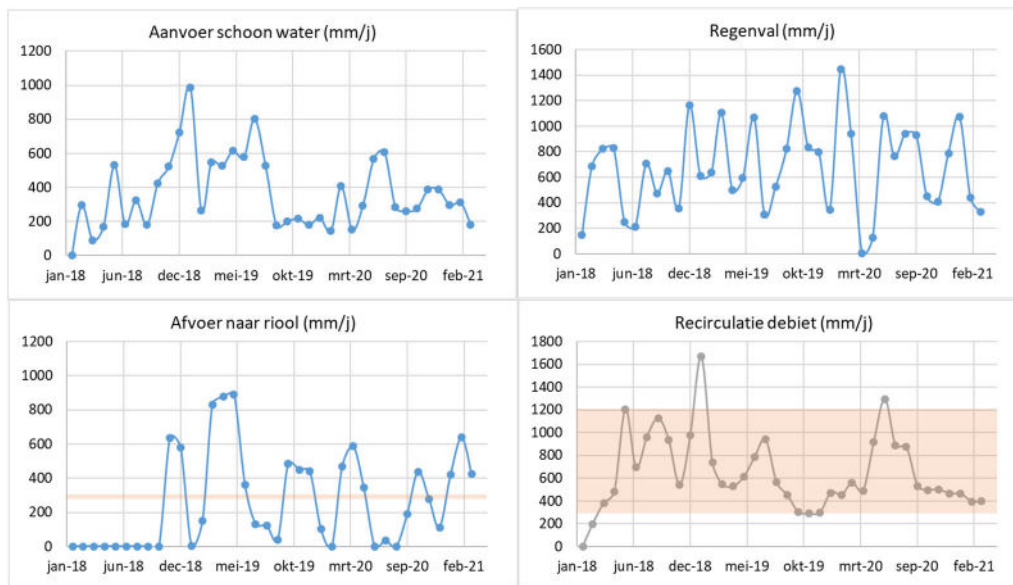


Figuur 2. Schematische weergave van het Kragge ontwerp voor RIS en percolaatbehandeling

Het stortgas wordt in een WKK omgezet in elektriciteit en warmte. Een gedeelte van de elektriciteit wordt gebruikt voor de twee waterzuiveringen en de rest wordt terug geleverd aan het elektriciteitsnet, terwijl de warmte wordt benut om in koude periodes de Anammox en nitritatiereactor op te warmen tot 25-30 °C, noodzakelijk voor de biologische afbraak.

## 2.2 Uitvoering van de percolaatrecirculatie - realisatie ten opzichte van plan

Om een vergelijking van planning en realisatie te kunnen geven is het nodig om de infiltratie die gegeven is in mm/jaar om te rekenen naar de verwerkte debieten in de waterzuivering. Voor het totale oppervlak van compartiment 3 van 5,1 ha komt iedere 100 mm/jaar neer op 0,6 m<sup>3</sup>/uur. De gerealiseerde debieten van schoon water aanvoer, spuidebiet naar riool en recirculatie-debiet zijn samen met de regenval weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3. Gerealiseerde debieten en regenwaterinfiltratie voor compartiment 3 Kragge (oranje gebied geeft de doelstelling aan)

*Toelichting op Figuur 3:*

- Figuur 3, linksboven: De aanvoer van schoon water vindt plaats vanuit de ringsloot en/of grondwater. Na de opstartperiode was de aanvoer ruim boven de streefwaarde van 300 mm/jaar. Na september 2019 neemt dit tot januari 2020 af, omdat het RIS systeem niet goed meer functioneerde. Daarna is het injectievermogen van de RIS weer verbeterd waardoor het recirculatiedebiet toe is genomen. In de loop van 2020 is het injectievermogen weer afgenomen door de regen en het afnemende infiltratievermogen van de RIS.
- Figuur 3, rechtsboven: De hoeveelheid gemeten regenval. Een deel hiervan verdampt, afhankelijk is van de begroeiing en weersomstandigheden en de rest infiltreert in het afvalpakket. Bij regenval boven 500 mm en in de winter zal de regen infiltreren in de stortplaats.
- Figuur 3, linksonder: Tot september 2018 is er niet gespuid omdat er problemen waren met de lamellenafscheider zodat het zwevende stofgehalte te hoog was (zie bijlage B). Vooral in de winter wordt er aanzienlijk gespuid. In de zomer is minder, dit wordt veroorzaakt door het lage niveau van percolaat in het compartiment. Er is een minimale percolaatniveau (1 meter) noodzakelijk om de zuiveringen draaiend te houden. Daarnaast is er maximale stand van 2 meter om geen kortsluitstroom naar de andere compartimenten te krijgen. Bij veel regen of injectie zien we niet direct een stijging van percolaat. Er zijn nog vraagtekens bij de samenhang tussen regen/RIS aan de ene zijde en het percolaatniveau aan de andere zijde.
- Figuur 3, rechtsonder: Het recirculatiedebiet blijft gedurende de looptijd binnen het streefgebied. Er is wel een afname in het recirculatiedebiet zichtbaar. Zoals eerder vermeld heeft dit te maken met het feit dat het RIS systeem niet meer goed functioneerde. Dit heeft waarschijnlijk meerdere oorzaken:
  - o Door het in de CWZI/nitritatiereactor gevormd slib worden infiltratie kanalen verstoord. Door ophopingen van water worden nieuwe infiltratiekanalen gevormd.
  - o Mogelijk zijn er verstoringen in het infiltratiesysteem. In Bijlage 1, figuur A2 is het infiltratiesysteem weergegeven. In de zomer wordt bacteriegroei direct naast de drains geconstateerd, dit is t.g.v. het warme weer (temperaturen hoger dan 26 graden). Hierdoor werden voorkeursstromingen geblokkeerd. Inmiddels zijn deze weer open en is de infiltratie verbeterd. De groei van de bacteriën is hiermee ook aangetoond.
  - o Een ander fenomeen wat wordt waargenomen is uitstroom van het percolaat naar het oppervlak. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door dat de weerstand voor infiltratie in het stortmateriaal hoger is dan naar het oppervlak. Dit wordt voornamelijk in het talud en richting compartiment 4 waargenomen. Als dit effect wordt waargenomen dan wordt het debiet in desbetreffende infiltratiedrain verlaagd. Ter plaatse van Drain 4b, 5a en 5b is tussen compartiment 3 en 4 is een infiltratiesloot gemaakt om de overstroming naar compartiment 4 zoveel mogelijk te voorkomen. In bijlage F is deze sloot beschreven.

### 2.3 Uitvoering monitoring - realisatie versus plan

Het plan en de realisatie van het monitoringprogramma voor de 0-meting en tijdens de eerste fase van de proef zijn in Tabel 2 met elkaar vergeleken. De afwijkingen t.o.v. het plan zijn hierbij aangegeven.

Tabel 2. Vergelijking plan en realisatie van het monitoringprogramma

compartiment/locatie	parameter	hoe	frequentie	Deelplan van Aanpak		Realisatie		Afwijking
				0-meting	proef	0-meting	proef	
Percolaat	volume		continu	x	X	x	x	Geen
	EC		continu	x	X	x	x	Geen
	Eh, pH, Cl-, NH4+, SO42-, HCO3-en DOC	Monstername, labanalyse (pH en Eh in veld)	1e jaar 2-wekelijks, daarna 1x per maand	x	X	x	x	Geen
	Na, K, Ca, Mg, Si, Al, Fe(tot), Mn(tot), NO3-, PO4(tot), Nkj, S2-, TOC, F-		6x per jaar	x	X	x	x	Geen
	As, Ba, Cd, Cr (tot), Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V, Zn, BTEXN, min. olie, VOCL, fenol, PAK		2x per jaar	x	X	x	x	Geen
	fractionering DOC	labanalyse	1ste jaar 6x, daarna 4x per jaar	X	X	-	x	Geen fractionering in 0-meting uitgevoerd
water in controledrains	samenstelling	labanalyse	2x per jaar	x	X	x	x	Geen
Infiltratie	volume		Continu		X		x	Geen
spui naar riool	volume		Continu	x	X	x	x	Geen
percolaatbehandeling in Anammox en nitritatie	volume		Continu		X		x	Monitoren functioneren waterzuiveringen
	NH4/NO3/NO2 in influent en effluent	labanalyse	1-2x per week		X		x	Monitoren functioneren waterzuiveringen
Stortgas compartiment 3	volume	Anemometer	4x tijdens 0-meting	x	X	x	x	Geen
	samenstelling	Gasanalyse	4x tijdens 0-meting	x	X	x	x	Geen, er is niet gekeken naar andere gassen. Gezien de aanwezige verontreiniging worden deze niet verwacht, zeker geen hoge concentraties..
Stortgas totaal Kragge	volume	gasmeter	Continu					Geen
	samenstelling	gasmeter	Continu					Geen

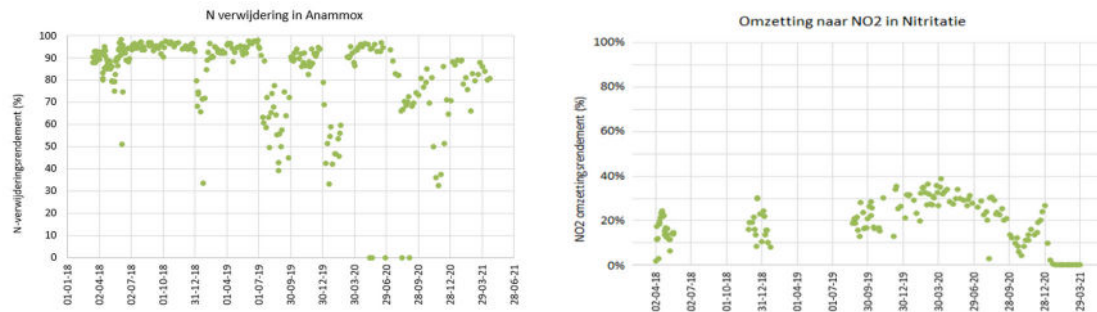


compartiment/locatie	parameter	hoe	frequentie	Deelplan van Aanpak		Realisatie		Afwijking
				0-meting	proef	0-meting	proef	
stortgasemissie	meting diffuse CH4 emissie	FID screening	1x in iedere periode	x	X	x	x	Onvoldoende resolutie in meting bij aanvang
afvalpakket	percolaatstand op onderafdichting	Meetlint	1x per maand	x	X	x	x	Online
	zettingen	Meetlint	4x per jaar	x	X	x	x	Hoogte van zakbakens
afvalmonsters	watergehalte, gloeiverlies	labanalyse	Voor en na	x		x		Geen
	respiratietest over 21 dagen	labanalyse	Voor en na	x		x		Geen
	uitloogtest (pH-stat)	labanalyse	Voor en na	x		x		Geen
	uitloogtest (schudtest)	labanalyse	Voor en na	x		x		Geen
	uitloogtest (kolomtest)	labanalyse	Voor en na	x		x		Geen
afvalpakket/toplaag infiltratie en gasonttrekkingsysteem	scheuren in de toplaag op taluds en bij kades, leidingbreuk technische systemen, uittreding water bovenop, bij taluds of bij kades, waarneembare geur	Visuele inspectie	wekelijks bij opstart of verandering regime. Tweewekelijks in geval van stationair draaiende situatie.	x	X	x	x	Geen
meteorologische data	temperatuur, atmosferische druk, neerslag, luchtvochtigheid, windsnelheid	Lokaal weerstation	dagelijks		X	x	x	Eigen weerstation Kragge
geoelectrische metingen		op afvalpakket	incidenteel	x	(x)	x		Door TU Delft
tracer test		percolaatopvang	eenmalig		X		x	Door Universiteit Southampton

### 3 Stand van Zaken: resultaat

#### 3.1 Performance van de waterzuivering

Figuur 4 geeft de performances van beide waterzuiveringssystemen weer. Over het algemeen functioneren beide systemen naar behoren. In de Anammox wordt bij optimaal functioneren ruim 90% van de stikstof verwijderd uit het percolaat. In de Nitritatie wordt ammonium omgezet naar nitriet zodat via nitriet in recirculatiewater de Anammox activiteit in het afvalpakket kan worden gestimuleerd. In de Nitritatiereactor wordt max rendement van NO<sub>2</sub> tussen 20-40% bereikt. In de Anammox wordt naar schatting 70-85% van het N in percolaat verwijderd. In bijlage B worden de waarnemingen en performances in meer detail besproken. Sinds begin 2021 functioneert de omzetting van NO<sub>2</sub> in de Nitritatie niet meer. Momenteel wordt gekeken naar de oorzaak hiervan. Acties als nieuw slib enten etc. hebben nog niet het gewenste effect opgeleverd.



Figuur 4. N-verwijderingsrendement van de Anammox reactor (links) en NO<sub>2</sub> omzetting in de Nitritatiereactor (rechts)

#### 3.2 Afbraak van organisch materiaal

##### 3.2.1 Op basis van stortgaswinning

De stortgasmotor in Kragge draait op gas afkomstig van Kragge I en Kragge II. Kragge I is een naast gelegen reeds afgesloten stortplaats. Beide stortlocaties hebben een eigen gasmeter. Het is dus inzichtelijk hoeveel gas en met welke kwaliteit van welke stortplaats afkomstig is. De registratie van het gevormde gas op Kragge II vindt plaats bij de compressor en is voor alle compartimenten gezamenlijk. De prognose van de methaanvorming<sup>1</sup> en gerealiseerde methaanwinning voor Kragge II is in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** weergegeven. De bovenste stippellijn is de prognose voor geheel Kragge II op basis van het Afvalzorgmodel (zie <https://www.afvalzorg.nl/diensten-stortlocaties/stortgas/>). De puntenwolk is de gerealiseerde winning tot april 2021.

De methaanvorming op een gesloten stortplaats daalt autonoom. Dat blijkt ook uit de gemodelleerde vorming in de figuur. Voorspelling was 24% afname over de periode juli 2017 - juli 2021, dus gemiddeld zo'n 6% per jaar en in de trend in gerealiseerde winning van methaan tot 2017 zie je dat terug.

In het DPvA (blz. 60) werd geschat dat ongeveer 1/3e deel van het gevormde methaan van compartiment 3 afkomstig zal zijn. Bij een gesloten stortplaats zal de vorming van methaan in de loop van de tijd autonoom afnemen. Een deel van de gevormde methaan wordt gewonnen en daardoor hebben stortgasprojecten in de loop van de tijd ook een autonome afname van methaanwinning. Voorafgaand aan de proef, in de periode voor 2017 werd ook op De Kragge II een afname van de winning van methaan geconstateerd. Sinds de start van de proef (3-2018) is deze

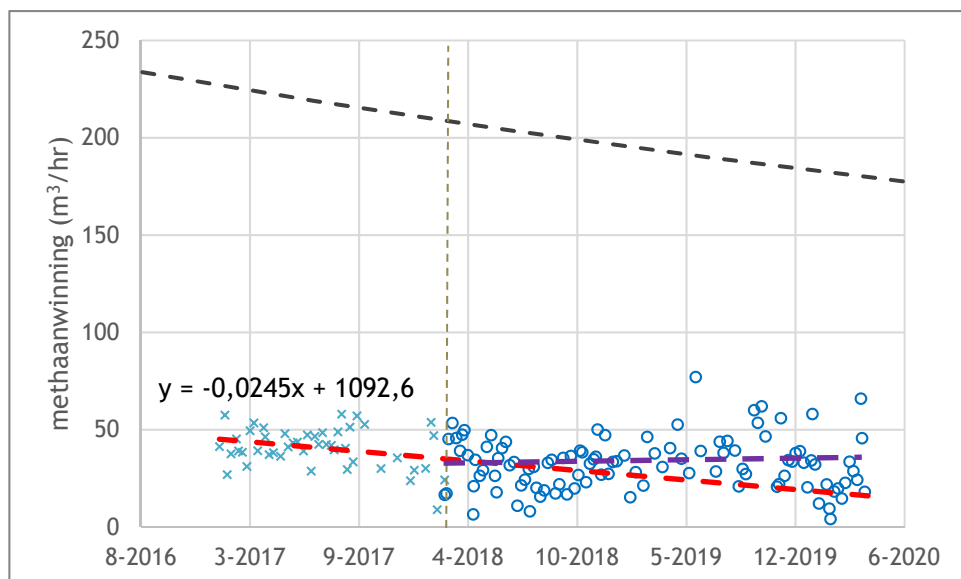
<sup>1</sup> N.B. De methaanvorming is het product van de stortgasvorming en het gehalte aan methaan in dit stortgas.

daling van methaanwinning vertraagd. In de periode 2017-2021 is niets veranderd aan de technische uitvoering (geen nieuwe gasbronnen geplaatst), noch aan het beheer van de methaanwinning. Enkel is in compartiment 3 percolaat geïnfiltrerd. Omdat in compartiment 1/2 en 4 niets is veranderd, zal de dalende trend in methaanwinning hier gelijk blijven. We zien in het totale gas van Kragge II een afname van de daling. Dit is zeer waarschijnlijk veroorzaakt door de recirculatie op compartiment 3 welke een positief effect heeft op de gasvorming.

In het DPvA wordt gesproken over de ontwikkeling van de hoeveelheid afbreekbaar organisch materiaal gedurende de test (figuur 11 fase i). Figuur 5 geeft indirect een indicatie van het effect van de maatregel op de gerealiseerde methaanwinning. Doordat op De Kragge II een deel van het gevormde gas diffuus verdwijnt, kan de hoeveelheid organisch C die met de gasfase wordt verwijderd niet nauwkeurig worden gekwantificeerd. We zien ook niet direct een toename in gasproductie. We zien wel dat deze productie constanter is en minder storing geeft op de motor. De actuele maatregel in de proef is infiltratie van geconditioneerd percolaat om de anaerobe afbraak van het afval te versnellen. Op basis van enkele aannamen kunnen we wel een globale schatting maken van de extra methaanwinning (en de daarvan af te leiden hoeveelheid afgebroken organische stof in het afvalpakket) ten gevolge van de infiltratie, ten opzichte van de autonome trend, door de winning vanaf het moment van infiltratie te vergelijken met een extrapolatie van deze autonome trend.

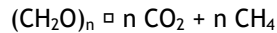
Op basis van de monitoringsresultaten kan deze schatting als volgt worden gemaakt:

- Als eerste stap wordt de trendlijn van de methaanwinning vóór aanvang van de infiltratie geëxtrapoleerd (rode lijn in Figuur 5). Op basis van autonome afbraak, zonder effect van infiltratie, zou de gemiddelde methaanwinning in de periode 2018-2020 dan 23,2 Nm<sup>3</sup>/hr zijn geweest.
- De gerealiseerde winning van methaan in de periode vanaf de start van de infiltratie wordt op basis van de actuele trendlijn (paarse lijn in Figuur 5) echter geschat op 32,4 Nm<sup>3</sup>/hr
- Als wordt aangenomen, dat de gasvorming op de compartimenten 1,2 en 4 niet is beïnvloed en dat ook het winningsrendement op deze compartimenten onveranderd is gebleven, dan kan deze extra methaanwinning van 9,2 Nm<sup>3</sup>/hr worden toegeschreven aan compartiment 3.



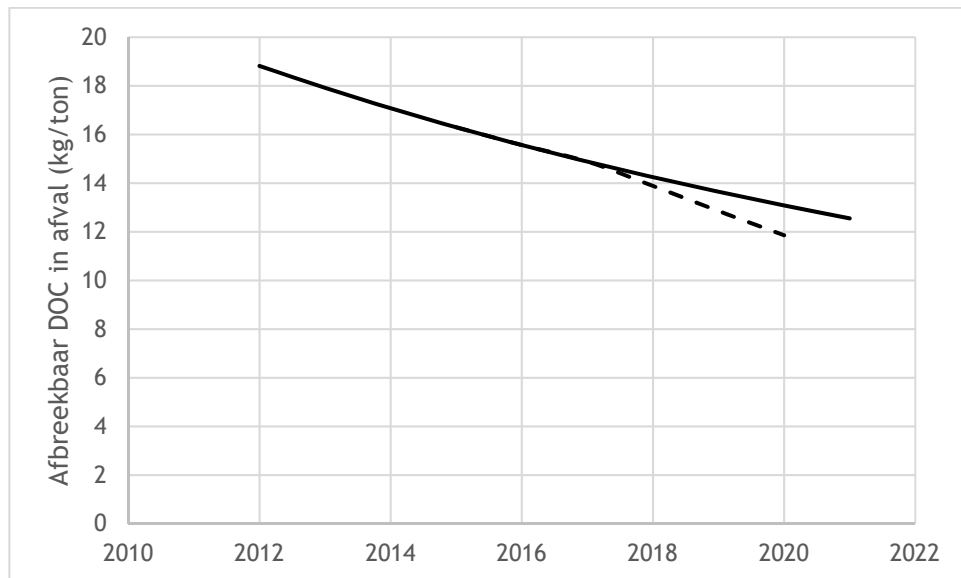
Figuur 5: Gerealiseerde methaanwinning vóór en na aanvang van de percolaatinfiltratie. De rode stippellijn geeft de trend weer van de methaanwinning ten gevolge van autonome afbraak zonder effect van percolaatinfiltratie. De paarse stippellijn is de actuele trend in de winning sinds de aanvang van de infiltratie.

- Het winningsrendement op geheel De Kragge II (ten opzichte van de theoretische vorming) is ongeveer 20%. Als wordt aangenomen, dat dit winningsrendement ook geldt voor compartiment 3, dan komt de extra methaanvorming ten gevolge van de infiltratie neer op ca.  $9,2/20\%=45,8 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ .
- Als tenslotte wordt aangenomen dat de afbraak van het organisch afval wordt gedomineerd door cellulose-rijk materiaal:



dan wordt de extra C-afbraak op compartiment 3 in de periode 2018-2020 geschat op 49,4 kg C/hr.

Wanneer deze extra afbraak wordt gecombineerd met een schatting van de hoeveelheid resterend afbreekbaar koolstof (DOC), dan wordt figuur 6 verkregen. Deze figuur is te vergelijken met figuur 11 uit het DPvA.

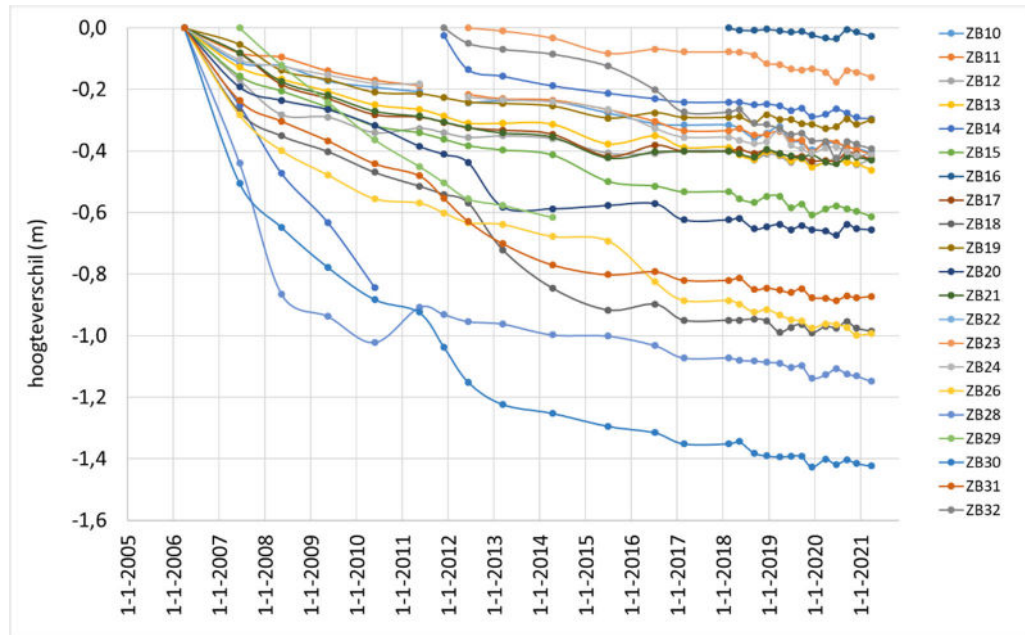


Figuur 6: Resterend afbreekbaar DOC t.o.v. extra afbraak door IDS.

### 3.2.2 Op basis van zettingen

Door afbraak van organisch materiaal neemt de hoeveelheid afval in het stortpakket af wat tot gevolg heeft dat het niveau van het oppervlak van de stortplaats zal dalen. Indien een versterkte afbraak plaats vindt door percolaatrecirculatie dan mag ook een versnelling in de zettingen worden verwacht. Voor aanvang van de pilot in de periode 2014-2017 bedroeg de gemiddelde zettingssnelheid  $30 \pm 17 \text{ mm/jaar}$ . Na de start van de percolaatinfiltratie en in de periode 2018-2021 waren de zettingen gemiddeld  $20 \pm 10 \text{ mm/jaar}$ .

De anaerobe afbraak van organisch materiaal is een langzaam proces, gezien de korte doorlooptijd (3 jaar) is er nog geen duidelijke trend te kwantificeren. Wat opvalt is dat op alle meetpunten veranderingen worden waargenomen.



Figuur 7. Gemeten hoogteverschil van de zakkakens van compartiment 3

### 3.2.3. Analyse van DNA in het onttrokken percolaat

Door Deltares zijn DNA-analyses uitgevoerd op het onttrokken percolaat voor en na aanvang van de percolaatinfiltratie (Gerritse et al, 2021)<sup>2</sup>. Deze gegevens suggereren, dat de anaerobe microbiële activiteit in het afvalpakket zich aan het ontwikkelen is. In september 2017 werd in het percolaat vooral DNA aangetroffen van heterotrofe aerobe soorten en nauwelijks DNA van anaerobe microorganismen. In juni 2019 werd het DNA in het percolaat gedomineerd door anaerobe bacteriesoorten.

De DNA-analyses zijn uitgevoerd op het percolaat en dit geeft vooral een beeld van de ontwikkeling van de biologische processen in de delen van het afvalpakket, die uitwisselen met het percolaat. Mogelijk is de uitwisseling van het afvalpakket met het percolaat efficiënter in de bovenste delen van het afvalpakket (zie hst 4 in de oplegnotitie van het kernteam). In dit bovenste deel lijkt het emissiepotentieel van het afval af te zijn genomen, ten opzichte van dat van dieper gelegen delen. Dat is op zijn beurt weer een gevolg van de nabijheid van lucht, waardoor het bovenste deel van het afvalpakket soms spontaan belucht is geweest. Het aantreffen van vooral heterotrofe aerobe bacteriën in het percolaat in 2017 en het gereduceerde emissiepotentieel van de bovenste delen van het afvalpakket zijn onderling consistent en het aerob karakter van het DNA in 2017 lijkt daardoor geen uitbijter.

Dat in 2019 het percolaat wordt gedomineerd door anaerobe bacteriesoorten is een extra aanwijzing, dat de anaerobe omzetting van afval in compartiment 3 wordt gestimuleerd.

## 3.3 Ontwikkeling van percolaat

### 3.3.1 Verwijdering van $\text{NH}_4^+/\text{N}_{\text{kj}}$ , DOC en $\text{Cl}^-$

In dit project wordt de percolaatkwaliteit op twee manieren verbeterd:

- door stimuleren van anaerobe processen in het afvalpakket, als gevolg waarvan DOC en  $\text{NH}_4^+/\text{N}_{\text{kj}}$  in situ wordt versneld wordt gevormd en deels ook weer wordt omgezet;

<sup>2</sup> Gerritse J., Broglioli F., De Vos van Steenwijk A. (2021), Effect van percolaatrecirculatie en aeratie in stortplaatsen op microbiële populaties in het percolaat. Deltares, Utrecht.

- door uitspoeling met het vrijkomend percolaat. Dit percolaat wordt vervolgens behandeld, deels weer teruggevoerd in het afvalpakket en deels gespuid.

Het eerste effect is niet eenvoudig te kwantificeren. De verwijdering van verontreinigingen bij percolaatbehandeling en als gevolg van spui wordt gemonitord en is weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Verwijdering van verontreinigingen door behandeling en spui van percolaat compartiment 3 sinds aanvang percolaatinfiltratie (in ton)

	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /N <sub>kj</sub> -N	DOC	Cl <sup>-</sup>
Verwijdering in de Anammoxreactor	106	25	
Verwijdering in de nitratiereactor	10	7	
Verwijdering door spui	11 <sup>1)</sup>	26	48
Totaal	127	58	48

De hoeveelheid verwijderde verontreiniging kan worden vergeleken met een schatting van het resterend uitloogpotentieel, op basis van analyses van vast afvalmonsters in tabel 4.

Tabel 4: Schatting van het uitloogpotentieel van de afvalmonsters, als vastgesteld in uitloogtesten of monsters van het vaste afval, genomen voor aanvang van de proefneming<sup>3</sup>

	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /N <sub>kj</sub> -N	DOC	Cl <sup>-</sup>
Ondiep afval (mg/kg ds)	152	230	188
Midden afval (mg/kg ds)	1145	750	444
Diep afval (mg/kg ds)	1607	1320	629
Totaal resterend (ton) <sup>4</sup>	640	510	280

Aannemend, dat alle in het afval aanwezige verontreinigingen beschikbaar zijn voor uitloging, is inmiddels 20% van de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/N<sub>kj</sub>-N, 11% van de DOC en 17% van de Cl<sup>-</sup>, aanwezig bij start van de pilot, versneld uitgespoeld. Echter als beschreven in het Integraal Plan van Aanpak, percoleert infiltrerend vocht door het afvalpakket via voorkeurskanalen. Verontreinigingen uit het afval tussen deze voorkeurskanalen kan alleen vrijkomen via diffusie. Zeer waarschijnlijk zit een deel van de verontreinigingen opgesloten in niet doorstroomde delen, onderin het afvalpakket (de stagnante bulk) en is niet beschikbaar voor uitspoelen. Gevolg hiervan is, dat het emissiepotentieel waarschijnlijk substantieel lager is, dan weergegeven in Tabel 4 en dat ook een hoger percentage hiervan inmiddels versneld is uitgespoeld.

### 3.3.2 Biologisch afbreekbare componenten

De percolaatconcentraties zijn bij de 0-meting en worden gedurende de pilot uitgebreid gemeten. De emissies worden hier in de volgende categorieën besproken waarbij wordt ingegaan op specifieke componenten:

1. Biologisch afbreekbare componenten: stikstof en organische stof
2. Inerte zouten: chloride, sulfaat

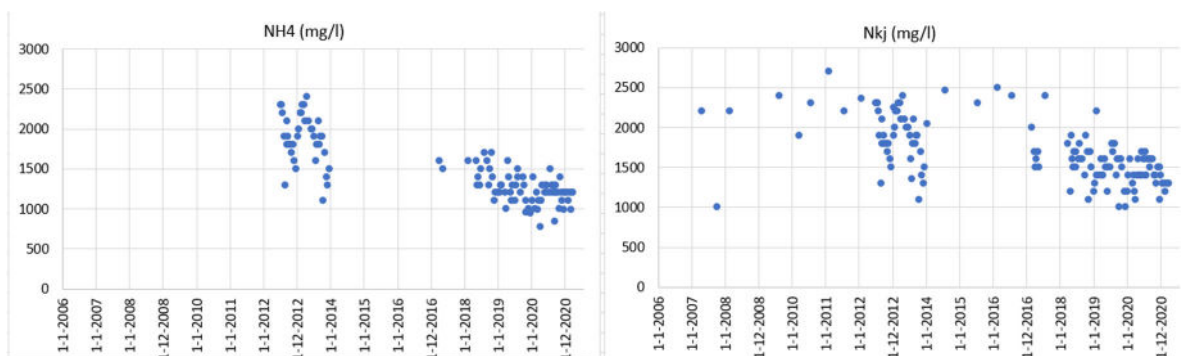
De percolaatconcentraties voor zware metalen en organische micro's zijn in bijlage C gegeven en worden in deze rapportage verder niet besproken. De reden daarvoor is dat voor deze componenten in dit stadium van de proefneming nog geen grote veranderingen zijn waargenomen.

<sup>3</sup> Zie rapport 'Afvalmonstername en analyse bij de nulmeting van de iDS-pilots', bijlage 5 en daarin de tabel 6, tabel 14 en tabel 29

<sup>4</sup> De schatting van de totale hoeveelheid is gebaseerd op een resterende hoeveelheid droge stof op compartiment 3 (exclusief afgedicht deel) van 666 kton (zie tabel 17 in het hiervoor genoemde rapport).

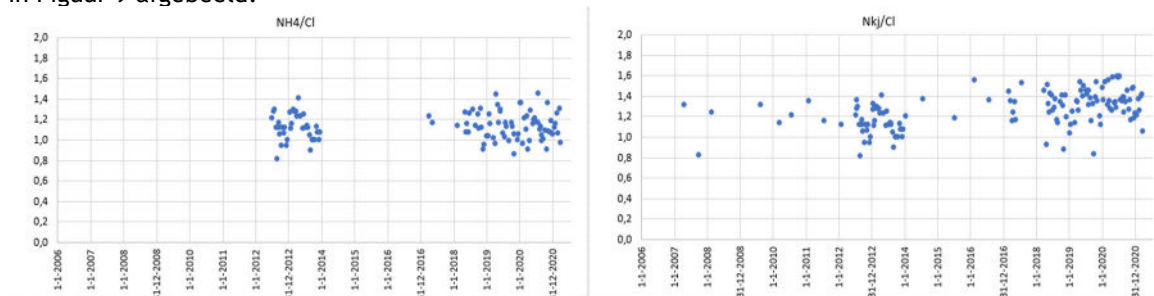
### 3.3.2.1 Stikstof

In Figuur 8 zijn de  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{N}_{\text{Kj}}$  (N-Kjeldahl is de som van N-organisch en  $\text{NH}_4^+$ ) concentraties in het percolaat van compartiment 3 gegeven.



Figuur 8. Ontwikkeling van de  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{N}_{\text{Kj}}$  gehalte in het percolaat in de periode 2007-2021

Na de iDS implementatie is er dalende concentratie van zowel  $\text{NH}_4^+$  als  $\text{N}_{\text{Kj}}$ . De daling van de concentratie wordt waarschijnlijk veroorzaakt door verwijdering van  $\text{NH}_4^+$  /  $\text{N}_{\text{Kj}}$  uit het afvalpakket. Dit is overeenkomstig met de aanname welke gedaan is in het DPvA, figuur 13 fase i. Om dit te kunnen beoordelen kan gekeken worden naar de verhouding t.o.v.  $\text{Cl}^-$ . Het  $\text{Cl}^-$  ion is namelijk een inert ion, d.w.z.  $\text{Cl}^-$  is mobiel en niet biologisch afbreekbaar, waardoor veranderingen in concentratie op relatief korte termijn als gevolg van variaties in neerslag door het jaar heen een goede proxy vormen voor het verdunningseffect. Door de verhouding  $\text{NH}_4^+/\text{Cl}^-$  en  $\text{N}_{\text{Kj}}/\text{Cl}^-$  te plotten in de tijd worden de trends in de N-parameters gecorrigeerd voor deze verdunning. Deze verhouding is in Figuur 9 afgebeeld.



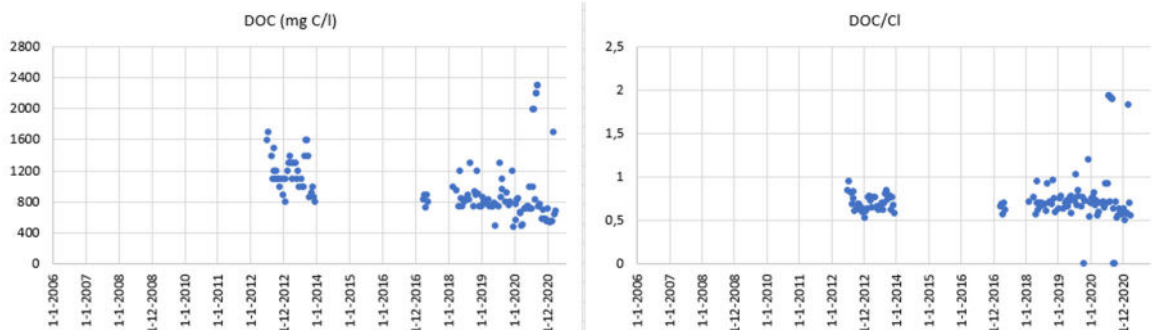
Figuur 9. Ontwikkeling van  $\text{NH}_4^+/\text{Cl}^-$  en  $\text{N}_{\text{Kj}}/\text{Cl}^-$  in het percolaat in de periode 2007-2021

De verhouding  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{N}_{\text{Kj}}$  en  $\text{Cl}^-$  is vrijwel constant. Dat kan worden begrepen op basis van tabel 3 en 4, die aangeeft dat de relatieve uitspoeling van  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{Cl}^-$  in dezelfde ordegrrootte is.

### 3.3.2.2 Dissolved Organic Carbon (DOC)

Voor de opgeloste organische stof (Dissolved Organic Carbon = DOC, in mg C/l) in het percolaat is geen emissie toetswaarde (ETW) afgeleid. De ontwikkeling van DOC in het percolaat is echter wel relevant aangezien de uitloging van zware metalen en organische micro's sterk gekoppeld zijn aan de concentratie en aard van de DOC, en tevens omdat (de concentratie en samenstelling van) DOC inzicht biedt in de stabilisatie van organische stof in het afvalpakket. Figuur 10 geeft aan dat na de start van de iDS pilot de DOC enigszins daalt, maar net zoals voor stikstof is deze daling niet zichtbaar als de  $\text{DOC}/\text{Cl}^-$  verhouding wordt uitgezet in de tijd. Dit is overeenkomstig met de aanname welke gedaan is in het DPvA, figuur 12 fase i. Uit Tabel 3 en 4 kan worden berekend, dat 17% van de  $\text{Cl}^-$  versneld is uitgespoeld, tegen slechts 11% van de DOC. Verwacht mag dus worden, dat de  $\text{Cl}^-$  concentratie in het percolaat sneller afneemt dan DOC-concentratie. Gevolg hiervan is een stijging van de verhouding  $\text{DOC}/\text{Cl}^-$ . Dat in de praktijk de DOC-concentratie even snel afneemt als  $\text{Cl}^-$  zou er

op kunnen wijzen, dat de daadwerkelijke verwijdering van DOC hoger is, dan aangegeven in tabel 3. Dit kan bijvoorbeeld, doordat DOC ook in het afvalpakket precipiteert of biologisch wordt omgezet.

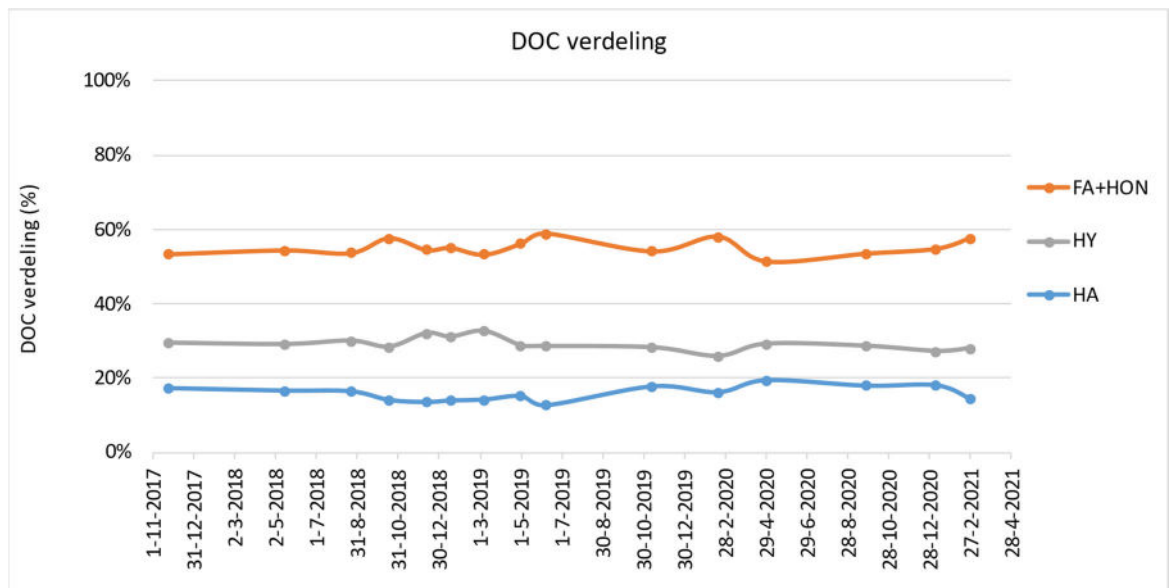


Figuur 10. Ontwikkeling van DOC en DOC/Cl verhouding in het percolaat in de periode 2007-2021

Naast de concentratie is ook de aard van het DOC bepalend voor het gedrag van zware metalen en organische micro's in het afvalpakket. Voor de aard van de DOC wordt deze gefractioneerd volgens het ISO 12782-5 protocol waarbij de volgende componenten worden gekwantificeerd:

- HA: humuszuren
- FA: fulvinezuren
- HY: hydrofiële fractie
- HON: hydrofoob neutrale fractie

In Figuur 5 zijn de resultaten van de DOC fractionering weergegeven. Sinds de start van de proef in maart 2018 zijn er nog geen duidelijke veranderingen waarneembaar in de verdeling van de verschillende DOC componenten.



Figuur 5. Ontwikkeling van DOC fracties in het percolaat in de periode 2017-2021

De speciatie van DOC laat ook zien dat het HY aandeel bij aanvang van de proefneming al minder dan 30% was, waar dit bij bodems en vers organisch afval (zoals verse compost) tot meer dan de helft van de DOC uit kan maken. Dit geeft aan dat de stabilisatie van organisch materiaal op dat moment al duidelijk op gang gekomen was.



Tijdens de proefmating verandert de aard van de DOC niet of nauwelijks, terwijl wel een aanzienlijke daling van DOC is gerealiseerd. Mogelijke mechanismes voor DOC-verwijdering zijn:

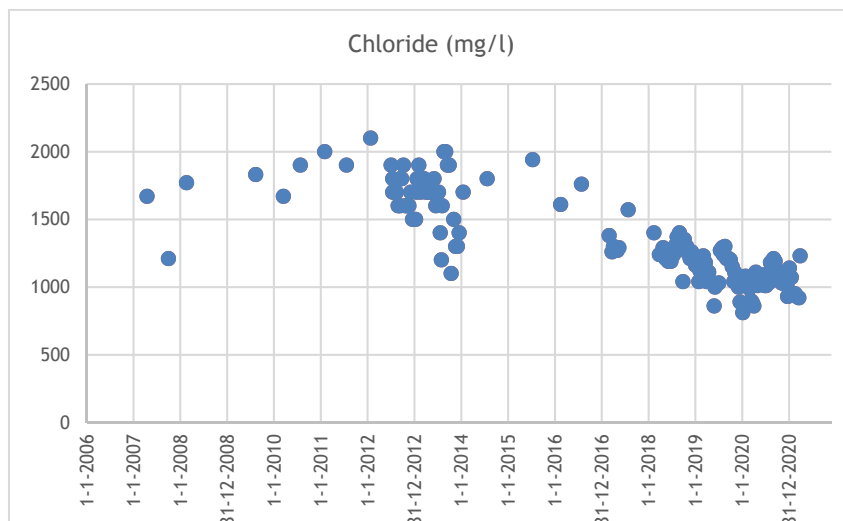
- (i) biologische verwijdering van DOC in de Anammox/nitritatiereactor. Naar verwachting resulteert dit vooral in een verwijdering van HY;
- (ii) fysische verwijdering van DOC in het lamellenfilter na de waterzuivering. Naar verwachting worden hier vooral de grotere/relatief sterk bindende fracties verwijderd, dus primair HA en wellicht FA+HON;
- (iii) omzetting van DOC in een denitrificatiereactie ergens in het systeem. Naar verwachting resulteert dit vooral in een verwijdering van HY;
- (iv) omzetting of precipitatie in het afvalpakket. Het netto effect hiervan is lastig in te schatten: omzetting (afbraak) naar verwachting vooral van HY; precipitatie/binding resulteert primair in een reductie van HA en wellicht FA+HON;
- (v) spui van DOC uit het systeem. Doordat percolaat eerst in de Anammox-reactor wordt behandeld, voordat het wordt gespuid, bevat het gespuide percolaat wat minder HY en is dus wat hoger in HA en FA+HON.

Tabel 3 geeft aan dat biologische omzetting van DOC in de Anammox-rector/nitritatie belangrijk bijdraagt aan de DOC verwijdering. Dus wordt een afname van HY in het percolaat verwacht. Verrassend genoeg wijzigt de speciatie van DOC echter nauwelijks.

De vervolgmonitoring zal moeten afbraak van vast organisch materiaal uiteindelijk ook zichtbaar wordt in een relatieve verhoging van het aandeel HA en het aandeel FA+HON en een verlaging van het aandeel HY, zoals ook waargenomen bij de rijping van compost.

### 3.3.3 Chloride

Figuur geeft aan dat het Cl<sup>-</sup> gehalte in het percolaat is gedaald ten opzichte van de 0-meting. In totaal is de afname ongeveer 35%. Dit is plausibel, gezien de hoeveelheid Cl<sup>-</sup>, die tot dusver is gespuid (zie Tabel 5).



Figuur 12. Ontwikkeling van het Cl<sup>-</sup> gehalte in het percolaat in de loop van de tijd

### 3.3.4 Verwachtingen ten aanzien eindresultaat ETW

In het DPvA wordt in tabel 12 een opsomming gegeven van de noodzakelijke reductie van de concentraties in het percolaat om te voldoen aan de ETW's. Een aantal van deze stoffen zijn in de voorgaande paragrafen reeds uitgebreid besproken, onderstaand komen de andere stoffen aanbod. In tabel 5 staan de stoffen waarvoor in tabel 12 van het DPvA een noodzakelijke reductie voor is aangegeven en welke tot op heden, vanaf 2018, is behaald.

Tabel 5: Huidige berekende reductie t.o.v. noodzakelijke reductie

	Inschatting realiseerbare reductie	Noodzakelijke reductie	Concentratie		Reductie (%)
			2018	2021	
Zware metalen					
Arseen	20-50%	0	59	40	32%
Cadmium	n.b.	Geen	0,4	0,4	Detectielimiet
Chroom	>60%	≈80%	360	240	33%
Koper	n.b.	Geen	8,3	16	-93%
Nikkel	>60%	≈75%	150	120	20%
Lood	>25%	0%	5	5	0%
Zink	>0%	0-40%	26	26	0%
Kwik	n.b.	Geen	0,1	0,1	Detectielimiet
Macro's					
Chloride	60-80%	90%	1.400	1.120	20%
Sulfaat		0%	5	5	0%
Nkj	>90%	98%	1.800	1.400	22%
Organische micro's					
Minerale olie	>90%	70%	190	240	-26%
VOX	>95%	0%			
PAK	≈90%	95-99,75%	35	28	20%
BTEX	>95%	90-99%	42	38	10%
fenolen	>>90%	99.99%	50	24	52%

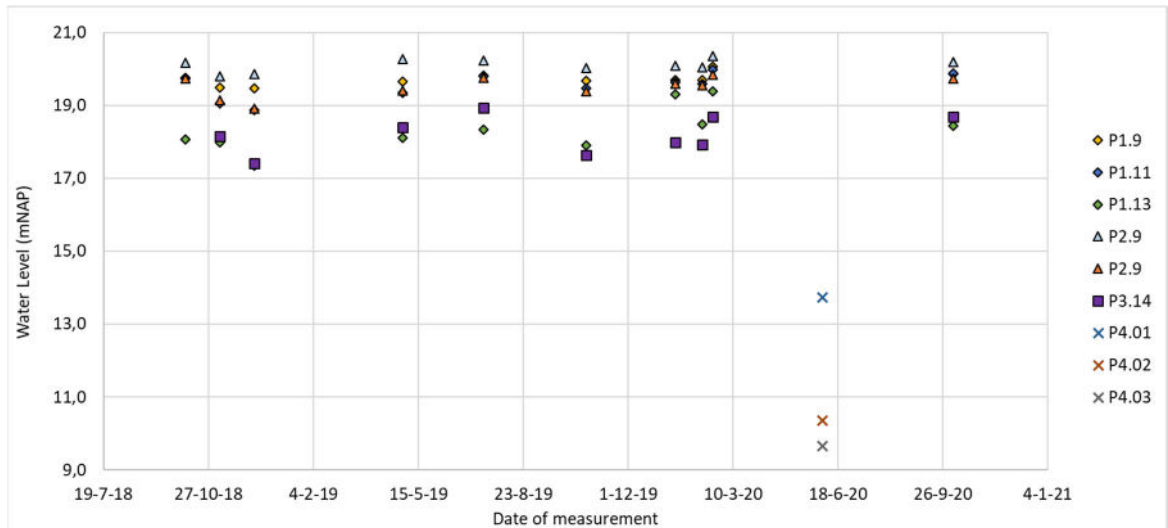
Tabel 5:

De huidige toestand van het afvalpakket is niet te vergelijken met de toestand waarin het afvalpakket zal verkeren aan het einde van de pilot. Op dit moment wordt actief percolaat gerecirculeerd, dit betekent dat er veel stroming in het pakket is, het water gehalte mogelijk is verhoogd, evenals de biologische activiteit. Dat er veranderingen zijn in de samenstelling van het percolaat is daarom niet verwonderlijk. Het is nog veel te vroeg om een conclusie te trekken met betrekking tot de ETW. De gegevens in de tabel bevestigen echter de hypothese dat recirculeren van percolaat de beoogde processen in het afvalpakket stimuleert.

### 3.4 Water in het afvalpakket

Een uitgebreide analyse van de waterbalans en de waterpeilen in het afvalpakket is in bijlage D gegeven. Hier volgt een samenvatting.

Bij het infiltreren van grote hoeveelheden percolaat/schoon water (zie hoofdstuk 2.2) viel op dat vorming van percolaat uit compartiment 3 niet toenam, terwijl dit wel werd verwacht. Een mogelijke reden hiervoor is de accumulatie van percolaat in het afvalpakket. Nadat Universiteit van Southampton (UoS) begin 2019 peilbuizen had geïnstalleerd in het afvalpakket, werd op 10-12,5 m boven het drainagesysteem vrij water aangetroffen, zie Figuur 6.



Figuur 6. Waterpeilen in een aantal peilbuizen van UoS in compartiment 3 (zie bijlage D voor een volledige beschrijving en de locatie van de peilbuizen). N.B. het drainagesysteem bevindt zich tussen 5.15 en 6.85 m NAP.

Bij het ontwerp van de pilot en het voorspellen van de effectiviteit van percolaatinfiltatie is er rekening mee gehouden dat het afvalpakket onderin verzadigd zou kunnen zijn met stagnerend water. Echter waterverzadigde zones op 10-12,5 meter hoogte kwamen als een verrassing. De zorg ontstond dat percolaatinfiltatie de oorzaak was van dit hoge waterpeil, met een aantal potentiële problemen als gevolg:

- Verzadigde zones op grotere hoogte in het afvalpakket kunnen effect hebben op de stabiliteit van het afval;
- Als de verzadigde zones hydrologisch in contact staan met het drainagesysteem, leidt dit tot een verhoogde waterdruk op de onderafdichting. Gevolg hiervan is dat eventuele lekken in de afdichting in omvang kunnen toenemen;
- De oorzaak van de verzadigde zones zou kunnen liggen in een hoge anisotropie (verhouding van horizontale en verticale permeabiliteit) van het afval. Afstroming vindt dan bij voorkeur zijdelings plaats en gevolg daarvan is, dat het verlies aan water naar compartimenten 2 en 4 groter is dan verwacht. Gevolg hiervan is weer dat de effectiviteit van infiltatie voor compartiment 3 afneemt;
- Een groot deel van het water zit in stagnerend, verzadigd afval. Water stroomt af over dit stagnerende afval en infiltreert via een beperkt aantal voorkeurspaden. Dit heeft effect op de uitwisseling van verontreinigingen tussen de stagnerende bulk en het percolaat en daarmee de percolaatkwaliteit.

Naar aanleiding van de waarnemingen zijn de volgende acties ondernomen:

- UoS heeft een 2D-modellering uitgevoerd van de stabiliteit van het talud met het software programma Oasis Slope (version 19.1). De berekeningen worden besproken in hoofdstuk 4.3.
- Op basis van de gemeten dynamiek in de gemeten percolaatvorming in vergelijking met de waterbalans, is de voorlopige conclusie, dat er een afwijking is tussen het water in het afvalpakket en het drainagesysteem in compartiment 3. Er zijn schijnwaterspiegels, maar we zien ook een kleine toename in percolaat in stortvak 2 en 4. Dit is nagenoeg niet te voorkomen gezien het een open systeem is. Ook zien we wat uittreding aan het oppervlak van stortvak 3. De reactie hierop is om ter plaatse de percolaat injectie te verminderen. Dus een variatie in het waterpeil in het afvalpakket leidt niet direct tot een toename van de waterdruk op de onderafdichting en leidt niet tot een verhoogd risico op het weglekken van percolaat naar het grondwater. Een verhoogd waterpeil in de pilot lijkt dus acceptabel

vanuit het oogpunt van het functioneren van de onderafdichting. Dit wordt bevestigd door twee waarnemingen:

- bij de reguliere grondwaterbemonstering worden geen afwijkingen geconstateerd ten opzichte van de voorgaande jaren (zie hoofdstuk 4.4)
  - jaarlijks worden de controledrains onder de stortplaats gereinigd en wordt de bruikbare lengte gemeten. Tijdens de reiniging in 2019 en 2020 is hier geen verschil gesignaleerd met voorgaande jaren.
- De massabalans voor water voor geheel De Kragge II is nader uitgewerkt, zie bijlage D. Voor de periode begin 2018-juni 2020 is de conclusie, dat er niet of nauwelijks accumulatie in het afvalpakket heeft plaatsgevonden. Dat komt vooral doordat de periode uitzonderlijk droog was, met de natuurlijke infiltratie mogelijk zelfs verwaarloosbaar. De hoeveelheid geïnfiltreerd percolaat komt overeen met de hoeveelheid onttrokken percolaat. Voor conclusies over compartiment 3, waarbij er sprake is van verlies van percolaat naar de compartimenten 2 en 4 (als gevolg van de eerder genoemde anisotropie) en het effect hiervan op de percolaatinfiltratie is echter nader onderzoek nodig. Per stortvak worden de water(percolaat-) standen gemonitord en geanalyseerd.
- In 2019 heeft de Universiteit van Southampton (UoS) tracer test uitgevoerd om de stroming van het percolaat door stortvak 3 inzichtelijk te maken. De eerste resultaten gaven aan dat de tracer na 3 weken op 15 meter diepte wordt gesignaleerd, maar de verdere migratie richting de onderzijde, de percolaat drains, langer duurt. Door de Corona maatregelen is tot juni 2021 voor de medewerkers van de universiteit erg lastig om aanvullend onderzoek uit te voeren. Dit onderzoek staat gepland voor de zomer 2021.

In november 2020 zijn door Attero extra peilbuizen/monitoring wells (A1 t/m A8.2) geplaatst met filters op verschillende dieptes in het afvalpakket. De locatie van de filters is op compartiment 3 en 4. De gesteldheid van het afval was heel divers. Op sommige locaties was het afvalpakket direct van bovenin verzadigd (A2) terwijl op andere locaties de bovenste meters (tot 6 m-mv) onverzadigd (A3) waren. Ter plaatse van A4 was het materiaal tot 12 m-mv verzadigd, dieper dan 12 m-mv was het materiaal droog tot kurkdroog. Het aanwezig zijn van droge delen in de stort geeft wel aan dat er voorkeurskanalen zijn in de stort. Het percolaat maakt hier gebruik van en het is moeilijk om delen buiten deze kanalen te doorspoelen. Dit betekent ook dat deze droge delen ook in de toekomst niet voor uitloging gaan zorgen. Hoe dieper het monster werd genomen des te compacter werd het stortmateriaal. Het stortmateriaal dat vrij gekomen is bestond voornamelijk uit plastic, fijne fractie en stukken hout. De aanname van verpulvering bij verregaande biodegradatie geldt minder voor de plastic fractie welke op diepte is aangetroffen. Er is geen papierafval of organisch materiaal aangetroffen in boring A4. Enkel bij deze boringen zijn waarnemingen ten aanzien van het materiaal gedaan. De boringen zijn geplaatst met Sonic Drill waarbij, tenzij specifiek gevraagd, geen stortmateriaal naar het oppervlakte komt. Eerst is getracht de peilbuizen met een holle avegaar te plaatsen, maar dat bleek niet mogelijk.

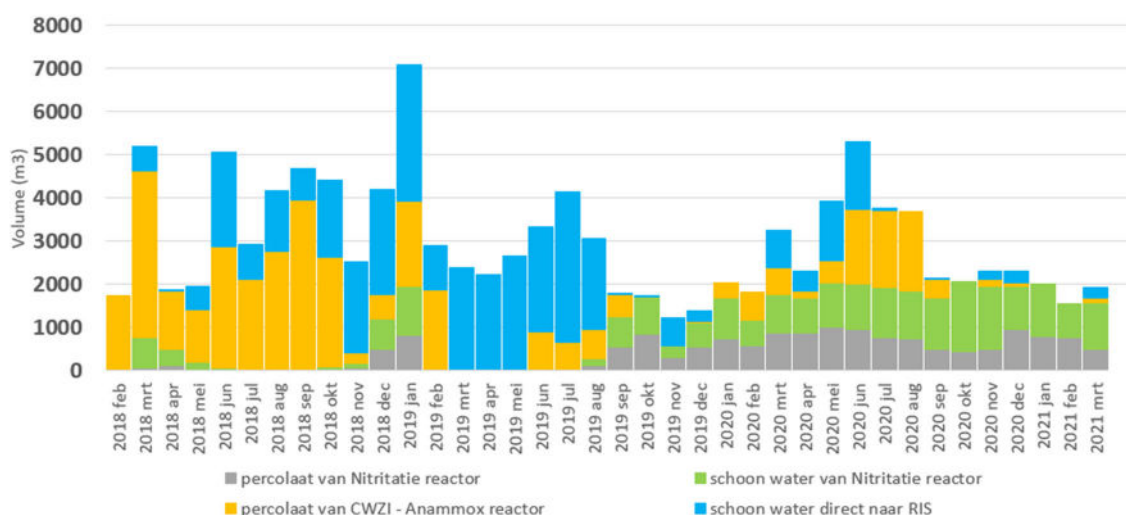
De mate van verzadiging heeft geen invloed op de hoogte van het percolaat peil in deze filters, bijlage D, figuur D5. Wel is opmerkelijk dat het percolaat niveau in compartiment 3 ca. 4 meter hoger is dan in compartiment 4, figuur D.7. Echter in het percolaatniveau onder in het compartiment (drains) is dit niet te zien, deze niveaus zijn nagenoeg gelijk. Het lijkt er dus op dat er ondoordringbare lagen zijn in het stortmateriaal.

### 3.5 Functioneren van het RIS systeem

Gedurende het eerste jaar na opstart van het RIS systeem bleek dat er aan het oppervlak rond de infiltratiedrains steeds meer uittreding van water optrad. Was dat aanvankelijk bij slechts enkele drains en met een beperkt debiet, in de loop van de tijd werd de uittreding zichtbaar bij nagenoeg alle drains en nam het lekkagedebiet toe. De oorzaak hiervan is het feit dat het recirculatiewater dat naar de drains wordt aangevoerd niet snel genoeg in het stortpakket kan infiltreren waardoor de grindkoffers vol lopen met water (het ontwerp van het RIS systeem en grindkoffer is in bijlage A

gegeven). Hierdoor kan het water alleen nog maar bij de drains en de taluds aan het oppervlak uittreden. Met name aan de grens met compartiment 4 wordt veel uittredend water gesignaleerd dat richting compartiment 4 loopt en niet infiltreert in compartiment 3. In bijlage F is de infiltratiesloot weergegeven die de overloop naar compartiment 4 moet voorkomen. Deze sloot vangt een gedeelte van het overlopende water tussen compartiment 3 en 4 af om het alsnog in compartiment 3 te laten infiltreren. Het totaal van onttrokken percolaat wordt vergeleken met het geïnfiltreerde percolaat (de ligging van compartiment 4 t.o.v. compartiment 3 is weergegeven in bijlage E). Het uittreden van infiltratiewater is gedeeltelijk voorkomen door naar de drains waar overmatig water uittrad, de toevoer van recirculatiewater te reduceren.

Figuur 7 geeft aan dat de samenstelling van het recirculatiewater sterk varieerde. De oorzaken hiervan zijn de al eerder genoemde problemen met het RIS systeem en de Nitritatiereactor die in het begin niet goed heeft gedraaid. De nitritatiereactor is tweemaal gestopt omdat de trommelzeef niet werkte en voor de noodzakelijke aanpassing (lamellen separator) een aanpassing in de vergunning noodzakelijk was. De afname van percolaat van de CWZI-Anammox reactor in het circulatiewater wordt in gegeven door het feit dat het percolaat niveau in compartiment 3 relatief laag is. Hier wordt gezien de droogte van voorgaande zomers spaarzaam mee omgegaan om het noodzakelijke niveau in het compartiment te handhaven. Als het percolaat niveau (1 meter) in het compartiment te laag wordt, is er onvoldoende water om de zuivering draaiende te houden.



Figuur 7. Volume en herkomst van het RIS water in de periode feb 2018 t/m mrt 2021

Er zijn enkele mogelijke verklaringen voor het slechter functioneren van het RIS in de tijd:

1. Omdat de grindkoffer volledig is omgeven met geotextiel, is er de mogelijkheid dat door de aanwezigheid van zwevende stof en ijzervlokken in het recirculatiewater het geotextiel verstopt is geraakt. Hierdoor kan de infiltratiesnelheid geleidelijk aan verminderd zijn en een toenemende uitreding van infiltratiewater zijn opgetreden.
2. Ook het aanwezige slib/grond in de bovenste afval laag kan zorgen voor dicht slibben van de preferente stromingsbanen.
3. Door het samenkomen van grondwater en percolaat in de grindkoffer kunnen er microbiologische en chemische reacties zijn opgetreden die ervoor gezorgd hebben dat er zich biomassa en/of minerale precipitaten in en rond het geotextiel hebben gevormd waardoor er zich een ondoordringbare laag vormt. De aanjagers voor precipitatie zijn Fe en Ca in grondwater, aanwezigheid van betongranulaat in de grindkoffer dat pH verhogend werkt en de oplosbaarheid van Ca, Fe en  $\text{HCO}_3$  in het percolaat verlaagt.

Mogelijke oplossingen voor bovenstaande verklaringen:

Een oplossing om de infiltratie te herstellen is het doorboren van de grindkoffer en het geotextiel zodat er weer een directe verbinding tussen drain en afvalpakket ontstaat. Dit is uitgetest in het eerste kwartaal van 2020 op 1 drain met 6 boringen en dit bleek succesvol te zijn, de infiltratiesnelheid nam significant toe. Daarna is besloten om voor alle drains boorgaten van 200 mm te plaatsen op een afstand van 5 m en een diepte 4 m om de infiltratie te herstellen. Deze herstelwerkzaamheden zijn in april 2020 uitgevoerd waarbij 235 gaten zijn geboord. Helaas zijn de gaten grotendeels dicht geslibd. Bij de volgende boorcampagne, juni 2021 worden de nieuwe boringen gevuld met grind om het dicht slibben te voorkomen.

Om het opnieuw dichtslibben van de drains, grindkoffer en nieuwe boorgaten te voorkomen zijn de volgende preventieve acties uitgevoerd:

- Voorkomen dat er zwevende stof in het Anammox effluent in het infiltratiewater terecht komt door de zwevende stof in de Anammox regelmatig te monitoren. Daarnaast wordt de hele zuivering momenteel tegen het licht gehouden om de grondoorzaak van de problemen met de zuivering(-en) inzichtelijk te krijgen en deze in de toekomst te voorkomen.
- Voorkomen dat Fe neerslaat in het RIS systeem door Fe uit het grondwater te verwijderen. Inmiddels wordt op een andere diepte het grondwater onttrokken. Het huidige grondwater bevat nagenoeg geen ijzer (ca. 1 mg/l) waardoor andere aanpassingen niet noodzakelijk zijn.
- In een eerder stadium zijn al de slecht functionerende trommelzeven uit de Anammox reactor vervangen door een hydrocyclonen zodat minder zwevende delen in het effluent terecht komen.

## 4 Risico's en risicobeheersing

Dit hoofdstuk besteedt aandacht de volgende aspecten:

- Is het concept van percolaatrecirculatie en percolaatzuivering veilig?
- Vinden er veranderingen plaats in de diffuse methaanemissies door de percolaatrecirculatie?
- Vindt er geuroverlast plaats door percolaatrecirculatie?
- Heeft percolaatrecirculatie effect op de grondwaterkwaliteit?

### 4.1 Grondwatermonitoring

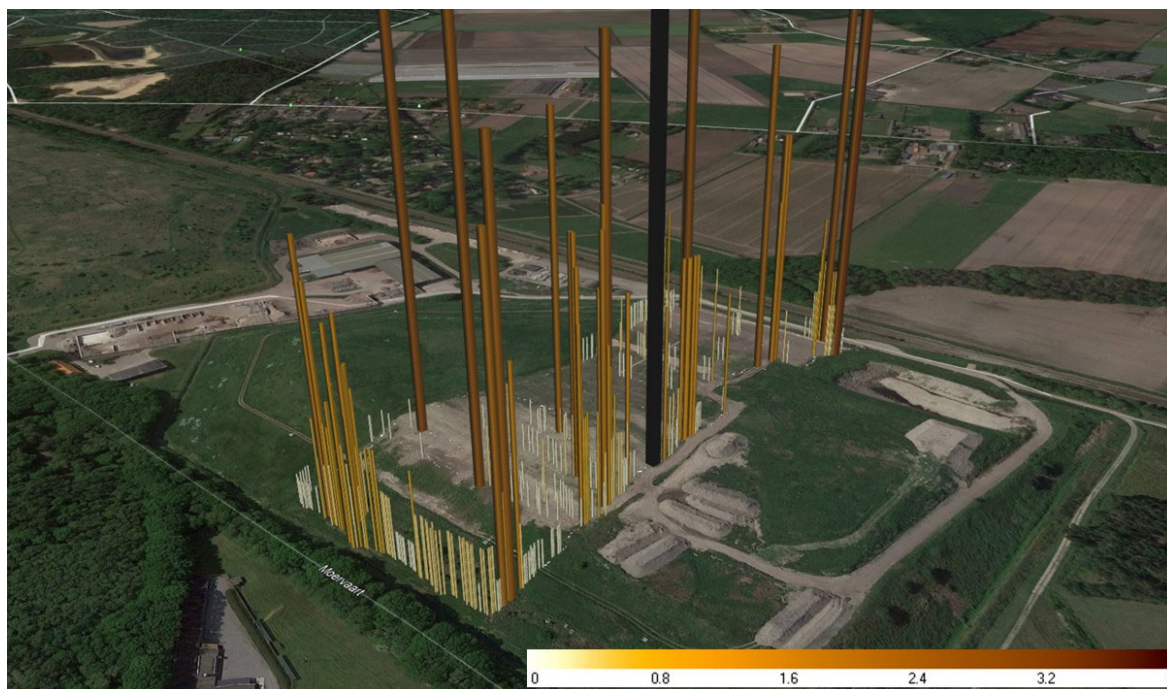
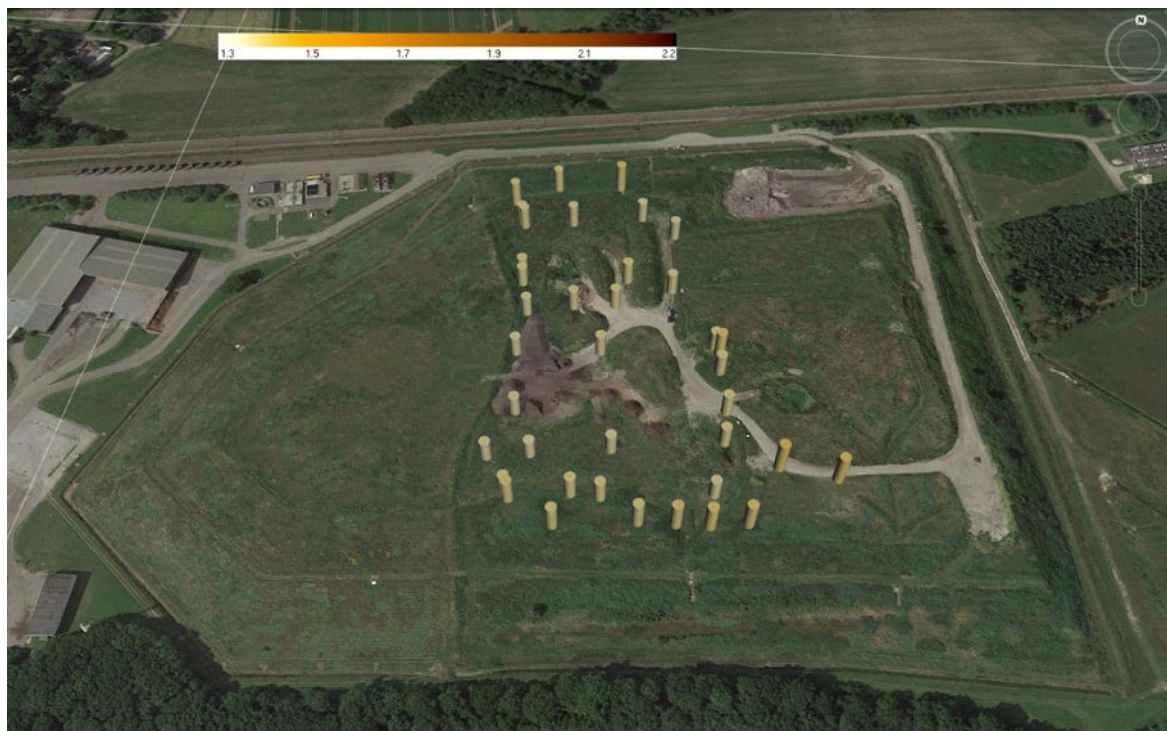
Op de stortplaats worden voor de bewaking van de grondwaterkwaliteit twee keer per jaar metingen uitgevoerd aan de controledrains die direct onder de onderafdichting van de stortplaats liggen. Deze reguliere metingen geven aan dat sinds het implementeren van iDS geen significante veranderingen zijn optreden in de samenstelling van het grondwater.

### 4.2 Diffuse methaanemissies en geur

De diffuse methaanemissiemetingen zijn uitgevoerd door middel van een surface screening. Hierbij is met een mobiele methaananalyser het afvalpakket afgelopen, waarbij de methaanconcentraties direct boven het oppervlak zijn gemeten. De gebruikte meetapparatuur is een Gazomat TDL-500, die voorafgaand aan de meting is geijkt met behulp van een ijkgas van 10 ppm. Bij de meting is een aantal keer over het afvalpakket gelopen, waarbij iedere 2-5 meter op een aselekt gekozen plek de methaanconcentratie werd vastgesteld. Wanneer een methaanconcentratie werd gemeten, die zich duidelijk (50%) boven de andere concentraties ter plaatse bevond, dan werd actief gezocht naar de oorzaak van de verhoogde concentratie.

De metingen van 2017 en 2019 zijn niet met elkaar te vergelijken aangezien in 2017 op compartiment 3 slechts een beperkt aantal metingen zijn gedaan. In 2019 (16 juli) is een specifieke route is afgelegd waarbij op meer plaatsen is gemeten en nadrukkelijk is gemeten bij de gasbronnen en het RIS systeem.

Met name aan de uiteinden van de infiltratiedrains is een verhoogde methaanemissie gemeten door kortsluitstromen. Door afdekking van kwetsbare plekken met grond wordt deze emissie gereduceerd tot vergelijkbare waarden als tijdens de nulmeting.



Figuur 14. Diffuse methaanemissies op compartiment 3; boven: meting in 2017 (nulmeting voor de RIS aanleg); onder: meting in 2019 (eerste jaar na RIS aanleg). De emissies zijn gegeven op logschaal.

Op Kragge is er geen sprake van geuroverlast die verband houdt met de iDS pilot. De geurbelasting is niet toegenomen.



### 4.3 Veiligheid

Een mogelijk veiligheidsissue is het hoge waterpeil in het afvalpakket waardoor mogelijk instabiliteit van het talud ontstaat. De Universiteit van Southampton heeft daarom een 2D-modellering uitgevoerd van de stabiliteit van het talud met het software programma Oasys Slope (version 19.1; <https://www.oasys-software.com/products/geotechnical/slope/>). Deze analyse was gebaseerd op de bekende geometrie van het afvalpakket en modelwaarden voor afschuifspanning uit de literatuur. Hiermee zijn twee scenario's doorgerekend, met als belangrijkste verschil de dikte van het verzadigde deel van het afvalpakket. In het eerste scenario is de verzadigde zone relatief diep en staat niet in contact met het drainagesysteem. In het tweede scenario blijft het verzadigde deel relatief dun en staat ze in verbinding met het drainagesysteem. Dit laatste geval is een worst-case situatie waarbij het afvalpakket drijft op een relatief grote bel water onderin. Het resultaat van de berekening is een veiligheidsfactor, waarbij een waarde >1 duidt op een veilige situatie. In scenario 1 wordt een veiligheidsfactor berekend van 2.0, terwijl in scenario 2 een veiligheidsfactor wordt berekend van 1.25.

#### 4.3.1 Legionella in de waterzuivering

In het percolaat is bij de meting in 2020 de legionellabacterie aangetroffen. De oorzaak van deze besmettelijke bacterie is nog niet achterhaald. Het betekent echter wel dat er extra veiligheidsmaatregelen (werken alleen met daarvoor noodzakelijke PBM's ) genomen zijn om besmetting te voorkomen. Nieuwe metingen hebben uitgewezen dat deze bacterie er nog aanwezig is en de nieuwe metingen worden twee keer per maand uitgevoerd.

### 4.4 Interpretatie en bijsturing

De voortgang van alle pilots binnen iDS worden maandelijks besproken in het Kernteam overleg waarbij één van de pilots in meer detail. Daarnaast is er een maandelijks operationeel overleg tussen het kernteam en de betreffende locatie. Hier wordt dieper ingegaan op locatie specifieke zaken. Op locatie wordt wekelijks een overleg gehouden tussen locatie verantwoordelijke, proces operators en de projectleiding. Eventuele constatering worden direct besproken en indien relevant ook vastgelegd in de taken- en besluitenlijst en het logboek.

Verder is er direct contact tussen de kennisinstellingen en pilotexploitanten over de voortgang op de pilotlocaties en de wetenschappelijke onderzoeken (op dit moment van TU Delft en Universiteit van Southampton) die lopen. Vanwege de zeer intensieve monitoring op aspecten die vaak niet standaard beschouwd worden, ontstaan nieuwe inzichten en nieuwe vragen. Bevindingen worden zo goed mogelijk geïnterpreteerd. Conclusies en aanbevelingen van het Kernteam worden vastgelegd in notulen. De interpretatie en conclusies die hieronder beschreven zijn, zijn in samenspraak met het Kernteam tot stand gekomen.

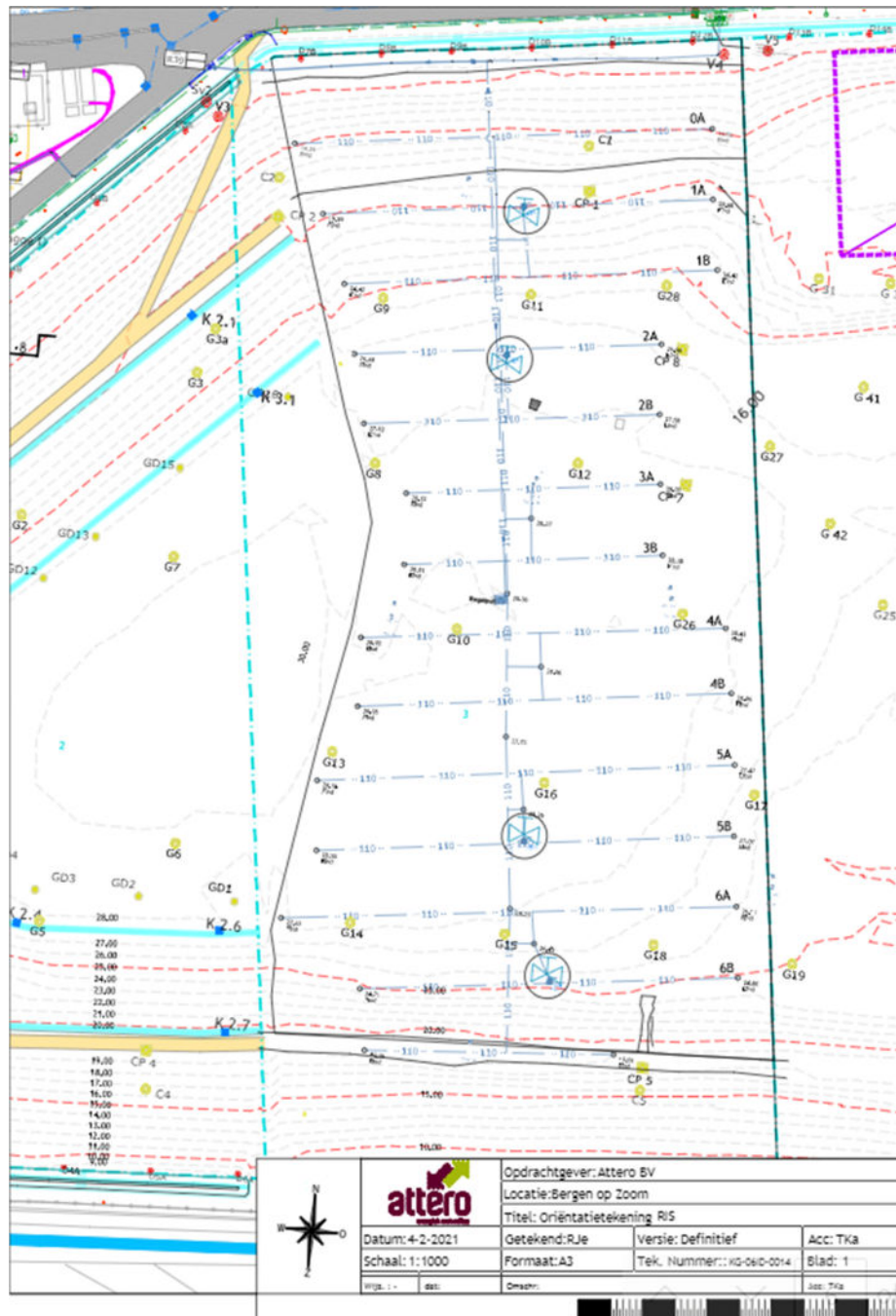
Nu de percolaatinfiltratie is hersteld door het doorboren van de geotextiel van de grindkoffers, wordt de werking van het RIS systeem nauwkeurig gevolgd door wekelijkse inspectie van wateruitreding bij de grindkoffers. Om te voorkomen dat het RIS systeem opnieuw verstopt raakt, wordt via monitoring voorkomen dat zwevende stof vanuit de waterzuivering in het recirculatiewater terecht komt en wordt ijzer vooraf uit grondwater verwijderd via beluchting.

Het volgen van het waterpeil in de pilot is toegevoegd aan het monitoringprogramma. Dit wordt vooral relevant nu de percolaatinfiltratie weer is hervat na het herstellen van het RIS systeem. Indien blijkt dat na hervatten van de percolaatinfiltratie het waterpeil verder oploopt, zullen de mogelijke consequenties voor stortstabiliteit worden herberekend en zal eventueel de percolaatinfiltratie worden aangepast.

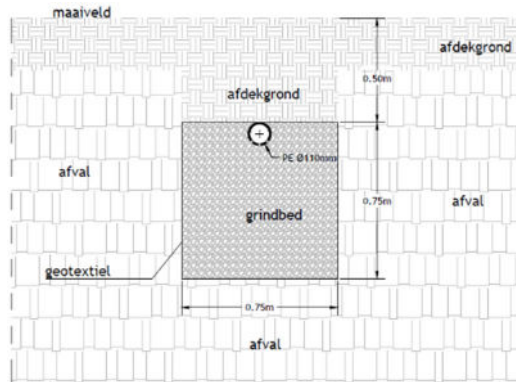
Het verlies van water van compartiment 3 naar compartimenten 2 en 4 zal in kaart worden gebracht door verdergaande modellering van de waterbalans na het hervatten van de percolaatinfiltratie. Dit onderzoek wordt momenteel door een studente van de TU Delft uitgevoerd. Naar verwachting is hier

eind juni een verslag van beschikbaar. Daarnaast wordt gekeken of een deel van een in compartiment 3 ingebrachte tracer (onderzoek Universiteit van Southampton) wordt teruggevonden in het percolaat van compartimenten 2 en 4.

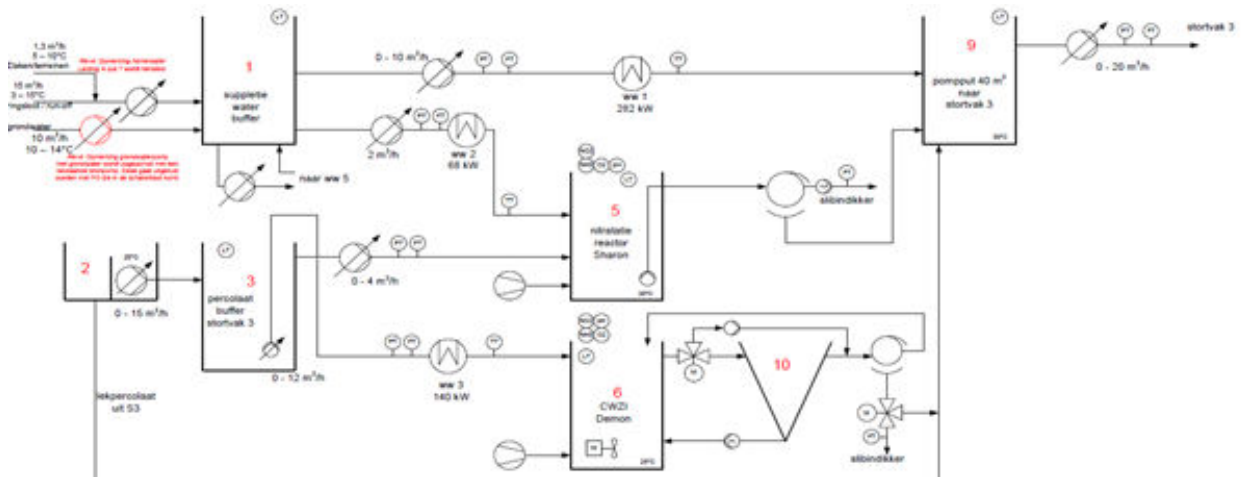
## Bijlage A Details van aangelegde RIS en waterzuivering



Figuur A1. Gerealiseerde RIS (Recirculatie-Infiltratie-Systeem) op compartiment 3



Figuur A2. Dwarsdoorsnede van de opbouw van de infiltratiedrain van RIS



Figuur A3. Procesflowschema van het gerealiseerde percolaatzuiveringsysteem: Anammoxreactor (aangeduid met CWZI/Demon) en Nitratie reactor (Sharon)

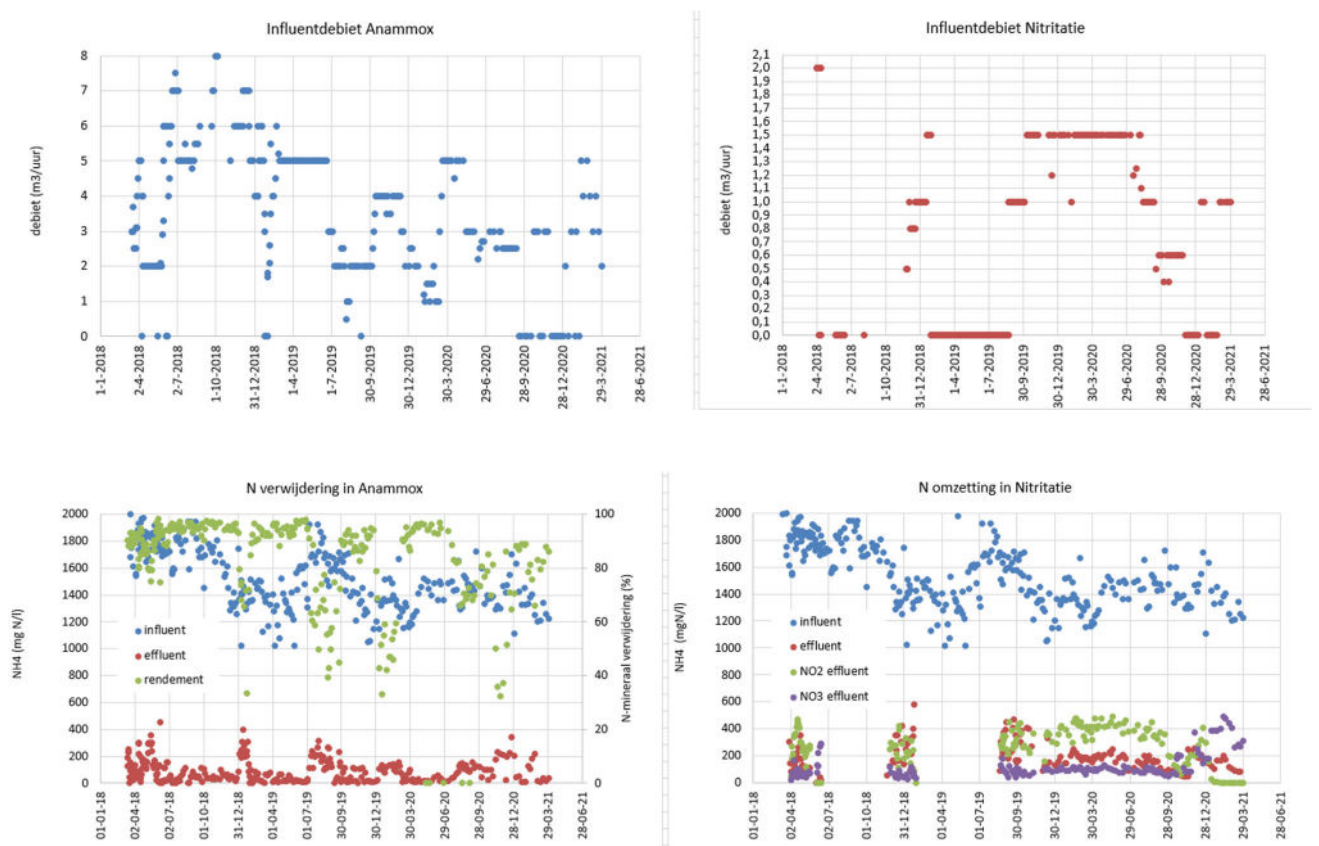
## Bijlage B Performance van de waterzuiveringen

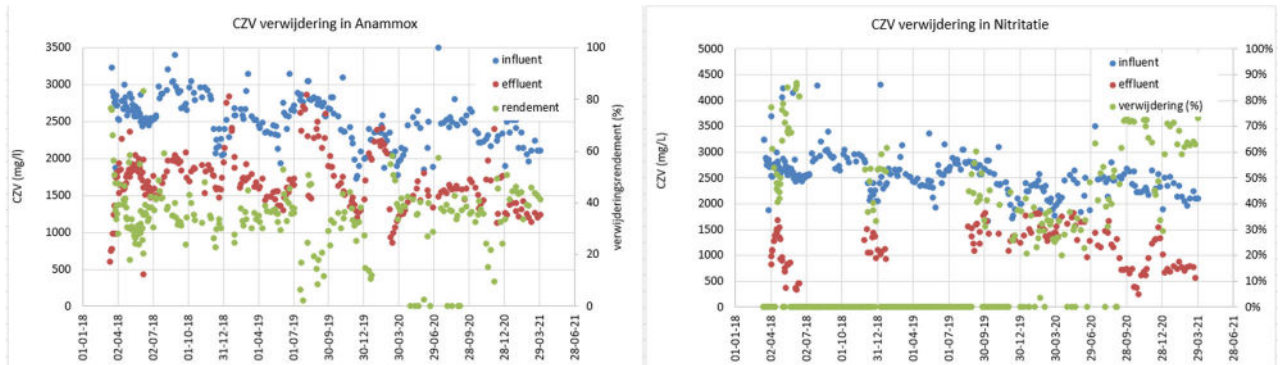
Er zijn twee waterzuiveringen gebouwd om percolaat te behandelen:

- Anammox reactor: hiermee wordt  $\text{NH}_4$  in het percolaat omgezet in stikstofgas  $\text{N}_2$ . Het effluent kan vervolgens worden teruggevoerd naar compartiment 3 of worden geloosd op het riool.
- Nitritatie reactor: hiermee wordt  $\text{NH}_4$  in het percolaat omgezet naar  $\text{NO}_2$ . Het effluent wordt altijd teruggevoerd naar compartiment 3 waar het mogelijk de Anammox omzetting van  $\text{NH}_4$  in het afvalpakket stimuleert. Echter  $\text{NO}_2$  kan ook in het stortpakket worden gedenitrificeerd met de aanwezige afbreekbare CZV.

In Figuur B.1 is de performance van de Anammox en Nitritatiereactor gegeven:

- Toevoerdebiet van beide reactoren
- $\text{NH}_4$  omzetting en verwijdering van N-mineraal ( $\text{NH}_4 + \text{NO}_3 + \text{NO}_2$ ) voor de Anammox en de  $\text{NH}_4$  omzetting naar  $\text{NO}_2$  en  $\text{NO}_3$  voor de Nitritatie
- De CZV verwijdering in beide reactoren





Figuur B.1. Performance van de Anammox en Nitritatiereactor: influentdebiet, N omzettingen en CZV omzetting

### De Anammox reactor

De Anammox reactor behaalde vanaf het begin een hoog stikstofverwijderingsrendement. De trommelzeef om het nitriterend slib van het Anammox slib te scheiden vertoonde echter veel mankementen waardoor er teveel nitriterend slib in de reactor achter bleef. Hierdoor liep het slibgehalte te hoog op. Dit leidde tot instabiliteit van de biologie maar ook tot overbelasting van de lamellenscheider waardoor het zwevende stofgehalte in het effluent te hoog opliep. Hierdoor is er in de eerste 1,5 jaar veel zwevende stof naar de RIS gestuurd. Mogelijk heeft dat tot verstoppingen van het RIS systeem geleid. In deze periode is daarom het debiet van de Anammox beperkt tot 5 m<sup>3</sup>/uur.

Vanaf 16 september 2019 zijn de trommelzeven door hydrocyclonen vervangen waardoor het slibgehalte en samenstelling in de reactor goed gecontroleerd konden worden. Het lage debiet in de periode na december 2019 is niet veroorzaakt door een slecht functionerende reactor maar omdat er niet meer percolaat aanwezig was in de verzamelput van compartiment 3. Het lage volume percolaat in de verzamelput wordt veroorzaakt door het zeer droge jaar en door het afnemende infiltratiedebiet als gevolg van verstopte infiltratiedrains.

In de Anammox wordt bij goed functioneren ook 30-40% van het CZV in percolaat verwijderd, mogelijk door aerobe afbraak en/of adsorptie aan het slib. Binnen de verduurzamingspilot bestaat vooral aandacht voor DOC, omdat dit beter aansluit bij de modellering van de mobilisatie van verontreinigingen in het percolaat. CZV en DOC zijn beide een indicator voor opgelost organisch materiaal en zijn daarom onderling sterk gecorreleerd. Het verwijderingsrendement voor DOC zal daardoor nagenoeg gelijk zijn aan het verwijderingsrendement van CZV.

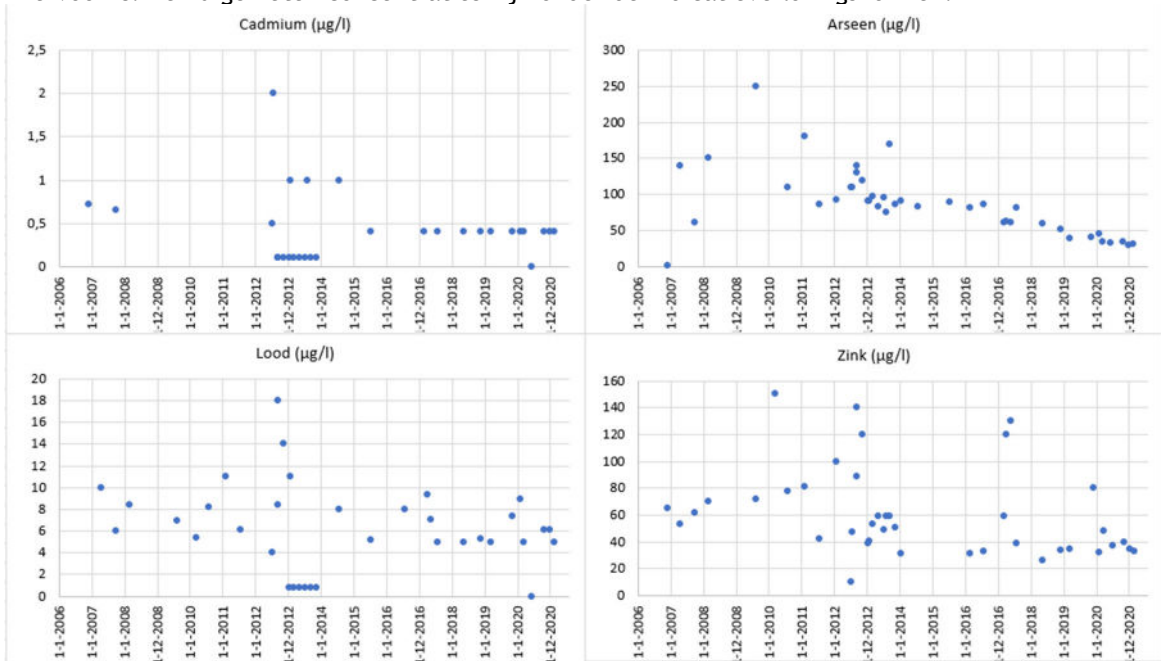
### De Nitritatiereactor

In de nitritatiereactor functioneerde de trommelzeef niet naar behoren waardoor het nitriterende slib onvoldoende in de reactor werd gehouden. De trommelzeef is vervangen door een lamellen separator en sindsdien werkt de reactor naar behoren en wordt 20-40% van het ingaande NH<sub>4</sub> omgezet in NO<sub>2</sub>. Het effluent van de nitritatiereactor wordt teruggevoerd naar compartiment 3. De ingaande N (NH<sub>4</sub>) is niet gelijk aan de som van de uitgaande N (NH<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>) omdat het ingaande percolaat 1:1 of 1:2 wordt verdund met schoon water.

Ook in de nitritatiereactor wordt CZV voor ca. 50% uit het percolaat verwijderd, ook hier mogelijk door aerobe afbraak en/of adsorptie aan het slib. Het verwijderingsrendement voor DOC zal waarschijnlijk gelijk zijn aan het verwijderingsrendement voor CZV.

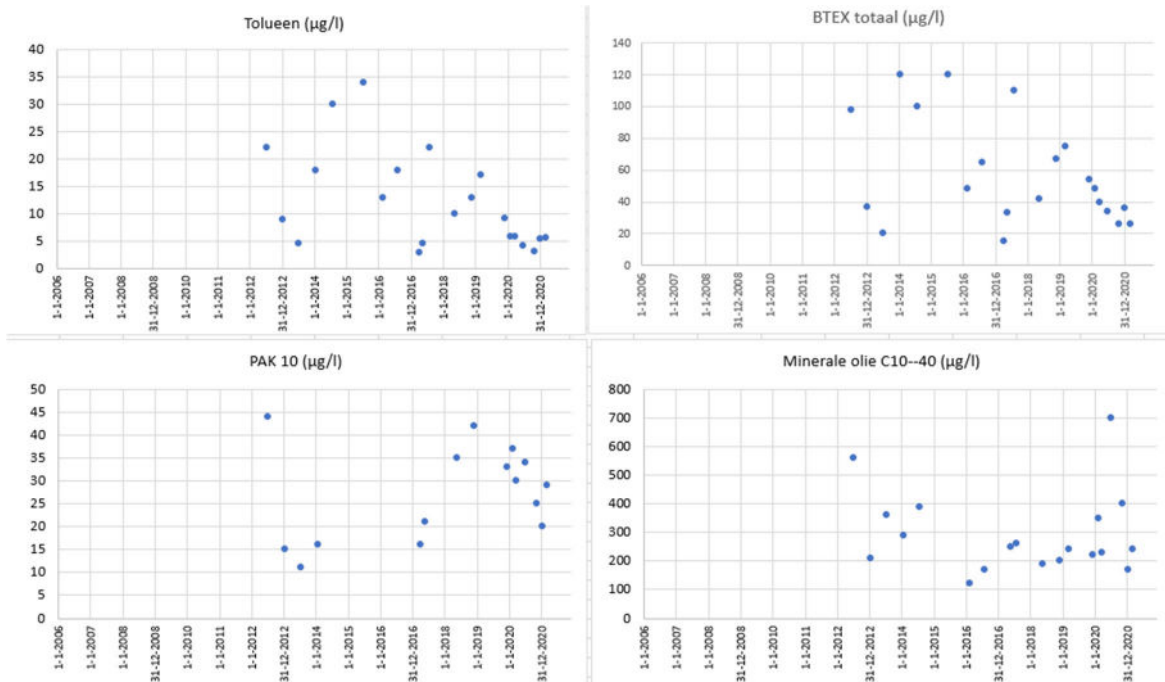
## Bijlage C Zware metalen en organische verontreinigingen in percolaat

De concentratie van enkele zware metalen is in Figuur C.1 in verloop van de tijd gegeven. Er lijkt enkel een daling in de concentratie van arseen op te treden, maar het is onduidelijk wat de reden hiervoor is. De nu gemeten concentraties zijn onder de indicatieve lozingsnormen.



Figuur C.1. Verloop van concentratie van enkele zware metalen in het percolaat in de tijd (waarden onder de detectielimiet zijn verwijderd)

Voor enkele organische microverontreinigingen is het verloop in concentratie in de tijd gegeven in Figuur C.2. Ook hier lijkt voor BTEX en Toluëen een dalende trend waarneembaar. Voor PAK en Minerale olie is de spreiding tussen de analyseresultaten te hoog voor een eenduidige conclusie.



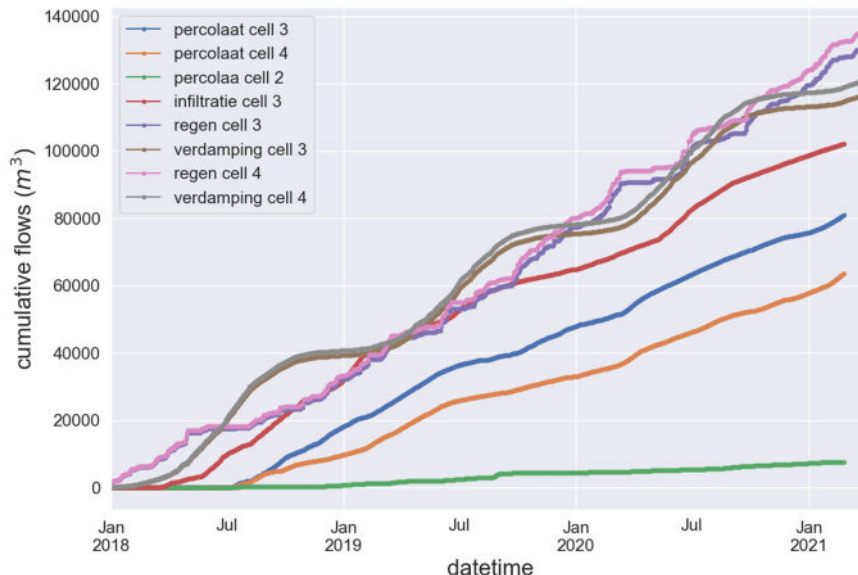
Figuur C.2. Verloop van concentratie van enkele organische verontreinigingen in het percolaat in de tijd (waarden onder de detectielimiet zijn verwijderd)



## Bijlage D Analyse van waterbalans en waterpeil

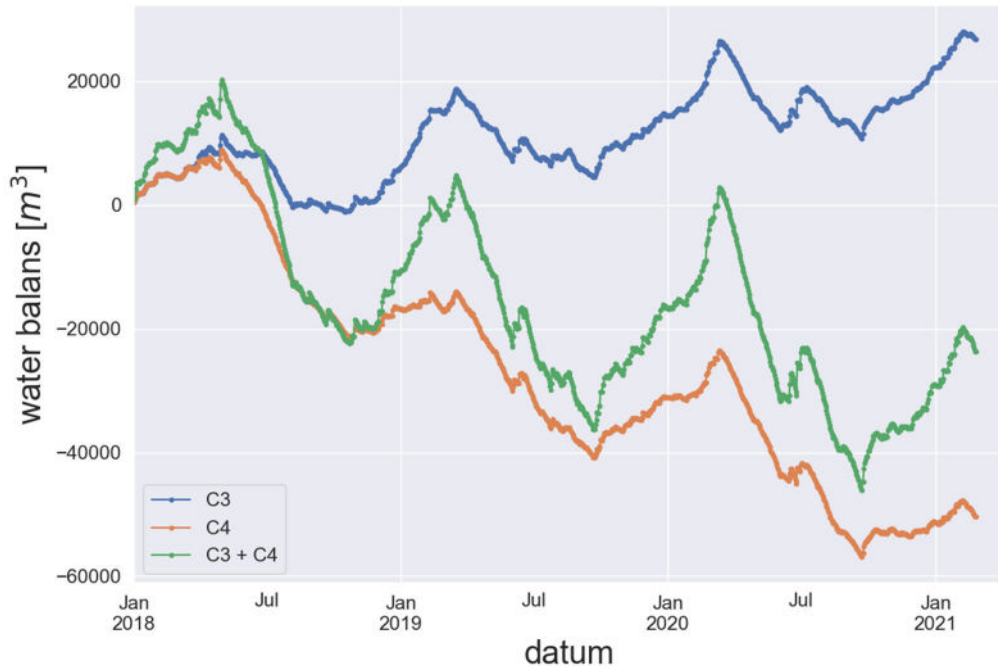
### Waterbalans

In Figuur D.1 is een overzicht gegeven van de cumulatieve hoeveelheden water gemeten op de Kragge 2 - compartimenten C2, C3 en C4. Hiertoe zijn alle gegevens omgerekende tot cumulatieve totalen, door waar nodig de gemeten waarden te vermenigvuldigen met de (bekende) oppervlakten van C3 en C4. De periode tussen 1 januari 2018 en 1 april 2021 is heel droog geweest met vrijwel geen neerslagoverschot: de totale hoeveelheid regen op C3 en C4 was 267.415 m<sup>3</sup>. Uit al de compartimenten (C2, C3, en C4) is percolaat afgevoerd waarbij zoals verwacht (vanwege de bovenafdichting) de hoeveelheid uit C2 (7.604 m<sup>3</sup>) veel kleiner is dat die uit C3 (92.497 m<sup>3</sup>) en C4 (71.986 m<sup>3</sup>). Het stortpakket in C2, C3, en C4 zijn echter niet hydraulisch van elkaar gescheiden zodat het mogelijk is dat water overloopt van C3 naar C2 of C4. De gegevens wijzen er op dat er een significante hoeveelheid water dat in C3 is gerecirculeerd is geïnfiltreerd in C4.



Figuur D.1. Gemeten cumulatieve hoeveelheden water op de Kragge 2 (compartimenten 2, 3 en 4) tussen januari 2018 en april 2021 (geproduceerd percolaat vanuit het drainage systeem, de hoeveelheid geïnfiltreerd gezuiverd percolaat en suppletie water in het infiltratie systeem op compartiment 3 en de gemeten neerslag en verdamping van de KNMI neerslag station Woensdrecht voor compartiment 3 en 4).

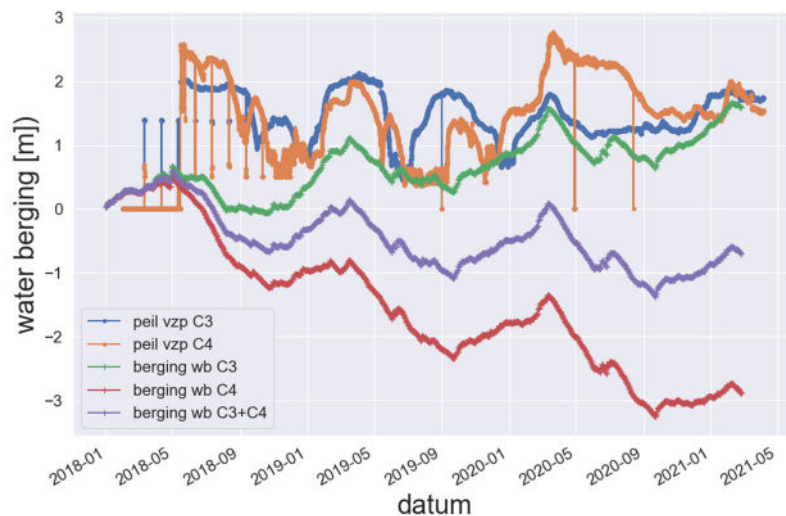
Op basis van de gegevens uit Figuur D.1 is het mogelijk om een waterbalans op te stellen voor het systeem bestaande uit compartimenten C3 en C4. Daarnaast is het mogelijk om een extreme schatting te maken van de waterbalans voor C3 en C4 apart, door te veronderstellen dat deze 2 compartimenten hydraulisch van elkaar zijn geïsoleerd. Het resultaat van deze berekening is weergegeven in Figuur D.2. Het blijkt dat er sinds 1 januari 2018 meer water (30.660 m<sup>3</sup>) is onttrokken uit C3 en C4 dan dat er is geïnfiltreerd door netto neerslag en aanvoer van schoon water. De extreme schattingen op basis van de aanname dat C3 en C4 hydraulisch zijn gescheiden zouden er op wijzen dat de hoeveelheid water in C3 zou zijn toegenomen met 13.480 m<sup>3</sup> en C4 een afname zou hebben van 44.140 m<sup>3</sup>.



Figuur D.2. Berekende waterbalans voor compartimenten C3 en C4

### Waterpeil in het drainagesysteem

Als deel van de reguliere monitoring wordt het peil in het drainagesysteem gemeten door een niveaumeter die is geïnstalleerd onder in de percolaatverzamelput in C3 en C4. De gemeten peilen kunnen we vergelijken met de geschatte berging berekend uit de waterbalans resultaten (Figuur D.2) te delen door het oppervlak van C3. Deze vergelijking is weergegeven in Figuur D.3. Hieruit valt op dat de dynamiek in het percolaatsysteem niet overeenkomt met de dynamiek in de waterbalans, behalve aan het einde van de tijdreeks. Dit komt hoogstwaarschijnlijk doordat het percolaat niet direct wordt afgevoerd als het wordt geproduceerd omdat men vanwege het opgetreden watertekort zuinig moet zijn met percolaat. Deze wordt waar nodig tijdelijk gebufferd in het afvalpakket, waarbij het maximale peil op de onderafdichting zorgvuldig wordt gemonitord.



Figuur D.3. Waterberging berekend uit de waterbalans vergeleken met het peil in de verzamelput in het drainage systeem van C3 en C4

## Peilbuizen in het afvalpakket

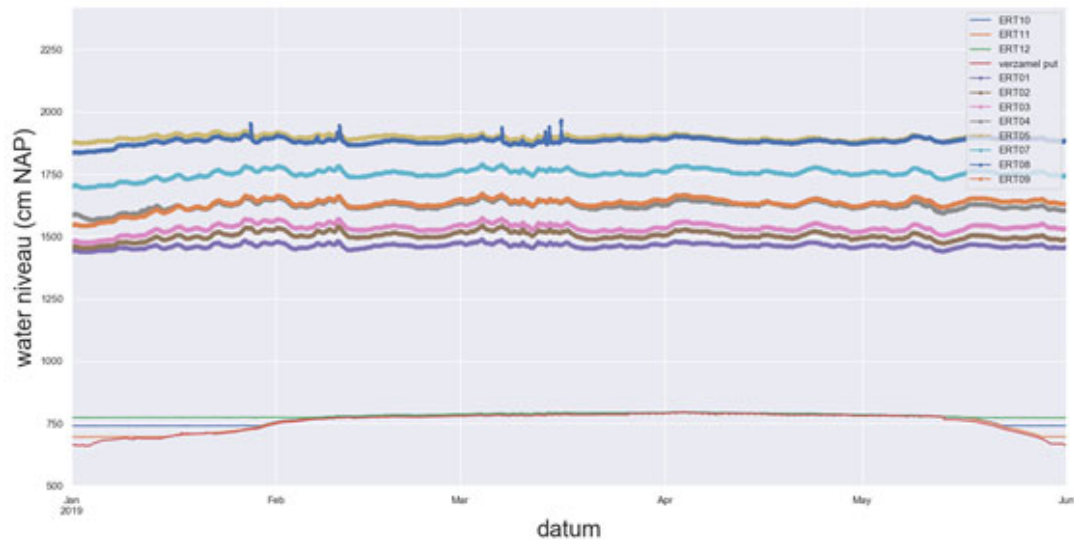
In het kader van het wetenschappelijk onderzoek dat is uitgevoerd door de TU Delft en de Universiteit van Southampton (UoS), zijn een aantal peilbuizen en zogeheten piëzometer nesten met diepe filters geplaatst in het afvalpakket. Hierin is tussen 1 januari 2019 en 1 juni 2019 het waterpeil automatisch gemonitord met divers. In mei 2020 heeft UoS nog de nieuwe piëzometers (P4) geplaatst.

Sinds juli 2018 wordt de monitoring van het waterniveau in de gasbronnen van C3 en C4 (G8 t/m G43) uitgevoerd. In november 2020 zijn door Attero ook extra peilbuizen/monitoring wells (A1 t/m A8.2) geplaatst met filters op verschillende dieptes in het afvalpakket. In het aangelegde meetinfrastructuur zijn en worden de handmatige metingen gedaan van het waterpeil in het afvalpakket. In Figuur D.4 is een overzicht weergegeven van waar op de compartiment 3 dit meetinfrastructuur is geplaatst.



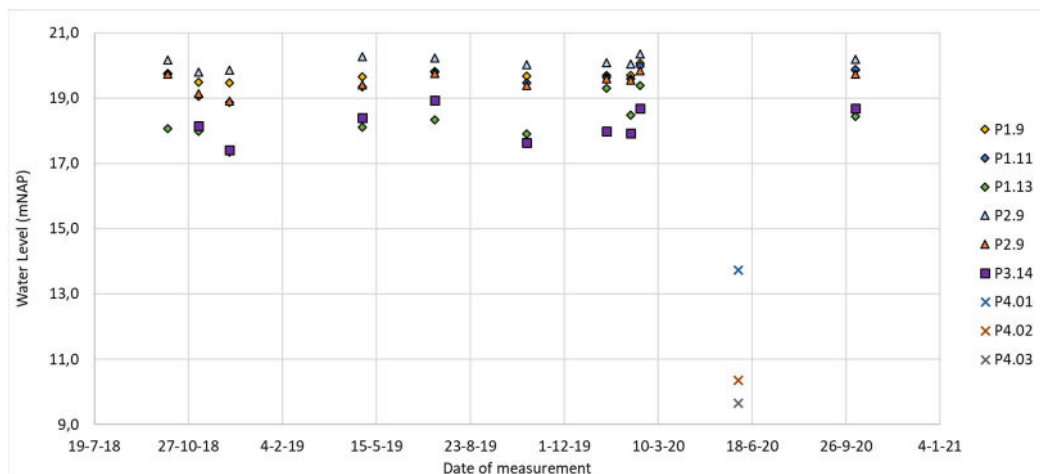
Figuur D.4. Overzicht van de meet-infrastructuur geplaatst in het kader van het wetenschappelijke onderzoek (de diepe filters met automatische divers zijn gemerkt met ERT 1-9, de handmatige uit te lezen piëzometer nesten zijn weergegeven met P1 tot P4.03. De peilbuizen zijn weergegeven met A1 t/m A8.2 en de gasbronnen als G8 t/m G28. De verzamel put is weergegeven met de rode stip rechts boven)

In Figuur D.5 is een overzicht gegeven van de automatisch gemeten peilen in 8 van de 9 ERT peilbuizen en de 3 divers in het drainage systeem in de periode januari t/m juni 2019. De diver in ERT 6 moet als verloren worden beschouwd doordat de peilbuis is gebroken als gevolg van zettingen in het afvalpakket. Alle metingen zijn omgerekend naar een waterpeil ten opzichte van NAP. Voor de divers in drain 9b is verondersteld dat de maximale peil gemeten gelijk is aan het maximaal gemeten peil in de verzamelput. Hiermee is de laagste gemeten peil door de diver in de drain dan gelijk aan de hoogte van de drain. Het peil in drain 9b is maximaal 1 meter boven de folie geweest.



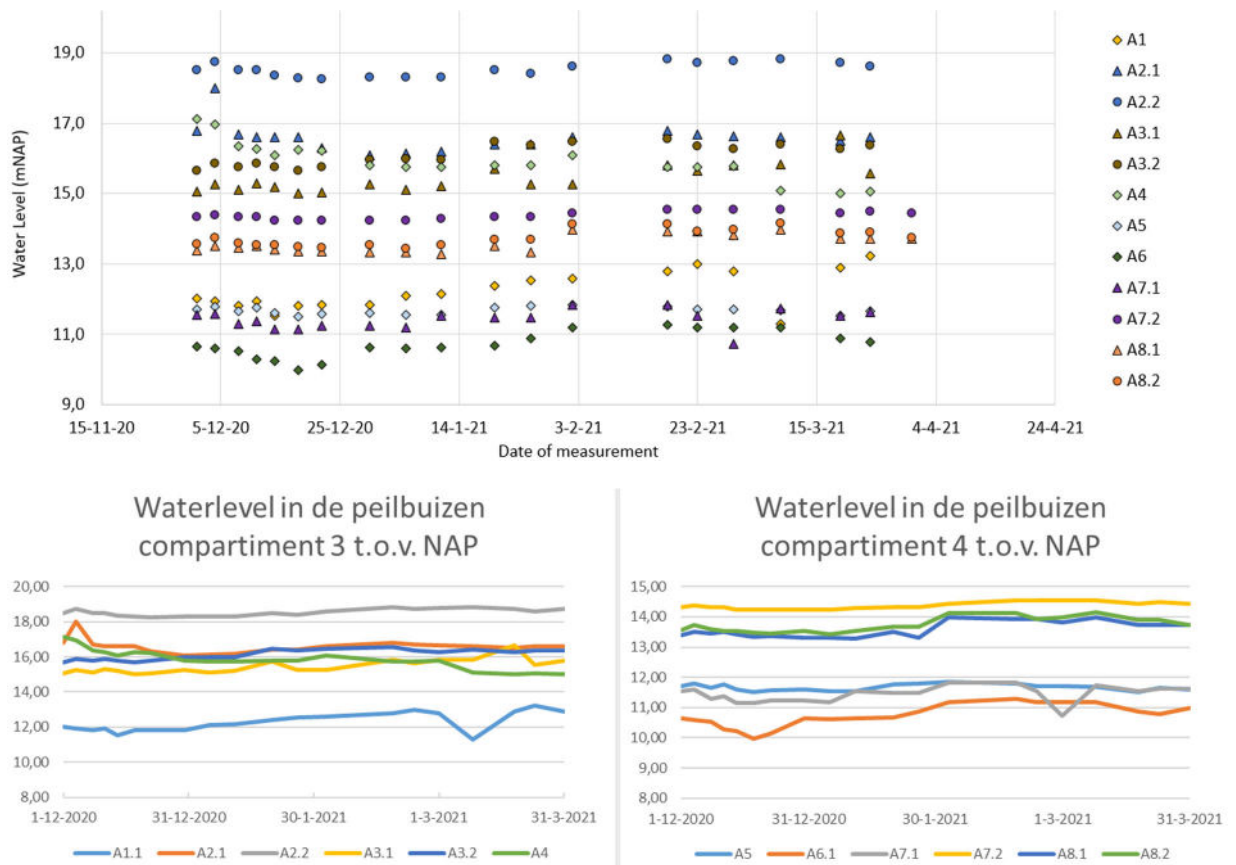
Figuur D.5. Waterpeilen in het afvalpakket van C3 (ERT1 tot ERT9) en in drain 9b (ERT10 tot ERT12) en in verzamel put C3 gemeten in periode jan-jun 2019.

Zeer opvallend in Figuur D.5 zijn de hoge waterpeilen gemeten in de peilbuizen in het afvalpakket, deze zijn veel hoger dan het peil in het drainage systeem. Daarnaast is het opvallend dat deze peilen in het afvalpakket maar weinig variëren in de tijd, ondanks het feit dat er regelmatig infiltratie plaats vindt via het infiltratiesysteem. Deze gegevens worden bevestigd door de handmatige metingen in de piëzometer nesten met filters op verschillende dieptes. De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in Figuur D.6, hier is duidelijk dat er weinig variatie wordt gemeten. Wel is er sprake van een verticale gradiënt in stijghoogte wat wijst op verticale stroming. Deze resultaten geven aan dat er een zeer hoge weerstand is tussen grote delen van het afvalpakket en het drainage systeem en dat het water in het afvalpakket stagnant is.



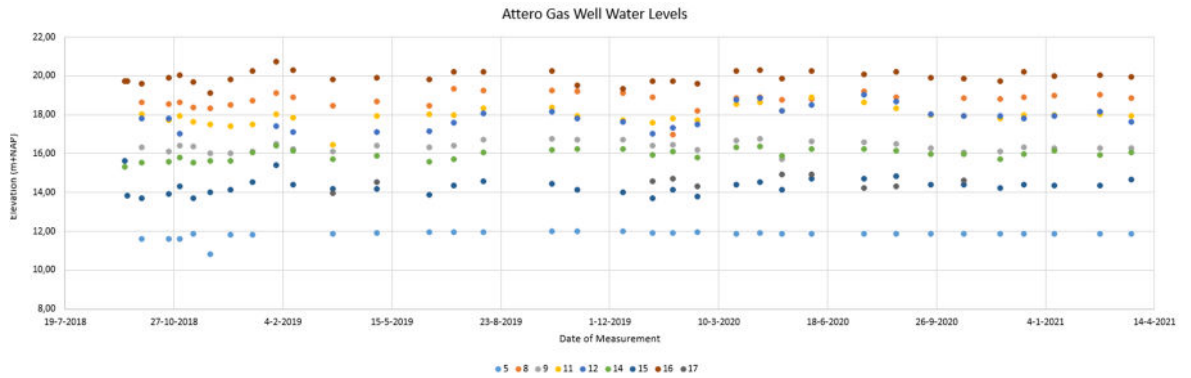
Figuur D.6. Peilen gemeten in de piëzometer nesten op verschillende dieptes in het afval pakket (getal achter de punt geeft de diepte weer).

De resultaten van gemeten waterpeil in de peilbuizen van Attero zijn weergegeven in Figuur D.7 en geven ook duidelijk aan dat er in een peilbuis weinig variatie in het waterhoogtes wordt gemeten. Dit is vergelijkbaar met de metingen in ERT wells en UoS piëzometer ondanks het feit dat er regelmatig infiltratie plaats vindt via het infiltratiesysteem. Wat wel opvalt is een groot verschil in percolaatniveaus tussen de verschillende peilbuizen (A1 t/m A8). Er is geen eenduidig beeld dat de percolaat standen in de ondiepe peilbuizen hoger zijn dan in de diepe peilbuizen. Wel is opmerkelijk dat het percolaat niveau in compartiment 3 ca. 4 meter hoger is dan in compartiment 4. Echter in het percolaatniveau onder in het compartiment (percolaatdrains) wordt dit niet waargenomen, deze niveaus zijn nagenoeg gelijk.



Figuur D.7. Waterpeilen ten opzichte van NAP in het peilbuizen/monitoring wells (A1 t/m A8.2) geplaatst met filters op verschillende dieptes in het afvalpakket C3 en C4.

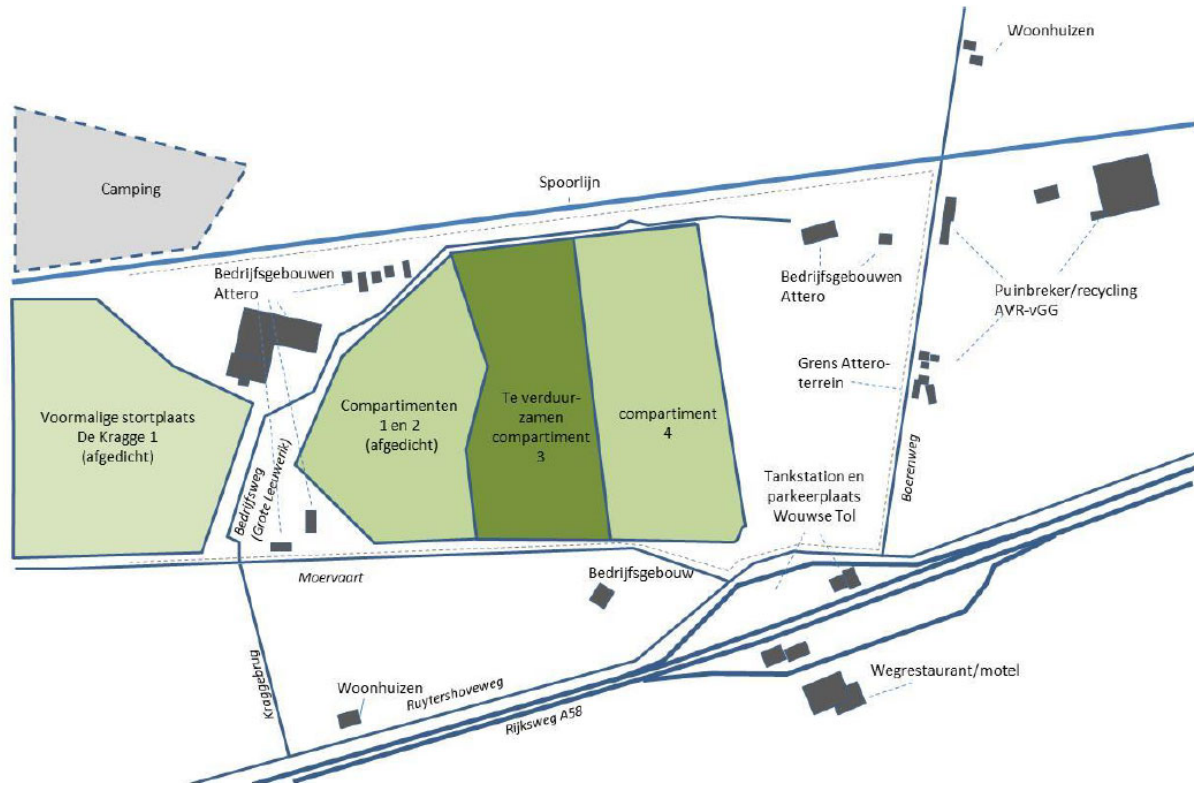
De bovengenoemde resultaten zijn ook terug te zien in het overzicht van de handmatige waterpeil metingen in de gasbronnen van compartiment 3 die weergegeven zijn in Figuur D.8.



Figuur D.8. Peilen gemeten in de gasbronnen op C3.

Het feit dat er wel degelijk percolaat in het drainage systeem komt en het peil in het afvalpakket nauwelijks verandert, wijst er op dat er sprake is van preferentiële stroming in het afvalpakket. Hoe grootschalig dit fenomeen is en wat dit betekent voor het succes van het infiltratie systeem is nog niet duidelijk. Hiervoor is aanvullend onderzoek nodig. Dit onderzoek is mede ten gevolge van de Coronaperikelen nog niet uitgevoerd.

## Bijlage E Indeling van Kragge 2 in 4 compartimenten



Figuur E.1. Situatieschets IDS pilot op Kragge

## Bijlage F Aanpassingen RIS na aanleg

In juli 2020 is tussen compartiment 3 en 4 een sleuf (20 meter lang en 60 cm breed) gegraven, Deze sleuf was 2 meter diep. Op 2 meter diepte werd het oorspronkelijke stortmateriaal aangetroffen. Deze sleuf is gevuld met grof inert materiaal (ongebroken puin(voornamelijk klinkers)). De bedoeling van deze sleuf is om de overloop van drain 4A, 4B en 5A af te vangen en alsnog te infiltreren in compartiment 3 in plaats van overloop naar compartiment 4. Deze infiltratie heeft gewerkt tot ca. februari 2021. In februari 2021 werd geconstateerd dat deze infiltratiesloot ook weer overloopt naar compartiment 4. Deze overloop is ca. 0,25 m<sup>3</sup>/uur. Momenteel wordt gekeken hoe de RIS infiltratie permanent verbeterd kan worden zodat deze infiltratiesloot overbodig is.

