

A.G. van Turnhout, H. Oonk en T.J. Heimovaara

Verbreding Toepasbaarheid Duurzaam Stortbeheer



Verbreiding Toepasbaarheid Duurzaam Stortbeheer (vtDS)

door

A.G. van Turnhout, H. Oonk en T.J. Heimovaara

Een digitale versie van dit rapport is beschikbaar op <http://repository.tudelft.nl/>.

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Samenvatting	4
1. Inleiding	6
1.1 Project Duurzaam Stortbeheer (iDS)	6
1.2 Doelstelling	8
1.3 Aansluiting bij het UP en Kennisagenda	9
1.4 Hypothese	11
1.5 Uitvoering van de business-case	12
2. Pilot projecten iDS	14
2.1 Beluchting	14
2.2 Percolaatrecirculatie	14
2.3 Naleving en monitoring	15
3. Realisatie werkpakket WP 1: Geofysica	16
3.1 Achtergrond	16
3.2 Realisatie	16
4. Realisatie werkpakket WP 2: Tracers	20
4.1 Achtergrond	20
4.2 Realisatie	20
5. Realisatie werkpakket WP 3: DataLab	23
5.1 Achtergrond	23
5.2 Realisatie	23
6. Realisatie werkpakket WP4: Aanvullend onderzoek op NAVOS en IBC locaties	25
6.1 Inleiding	25
6.1.1 Achtergrond	25
6.1.2 Probleemstelling	26
6.1.3 Doelstelling	27
6.1.4 Uitvoering	28
6.2 Discussie	28
6.2.1 Percolaatgegevens stortplaatsen (chloride)	28
6.2.2 Percolaatgegevens stortplaatsen (Nkj)	30
6.2.3 Percolaatgegevens stortplaatsen (overige componenten)	31
6.2.4 Concentraties rondom voormalige stortplaatsen (trends in gemeten concentraties)	31
6.3 Conclusies	33
Aanbevelingen	35
Referenties	36
Bijlage A	37

Samenvatting

In dit rapport worden de eindresultaten van het project "Verbreding toepassing duurzaam stortbeheer (vtDS)" beschreven. Dit project is uitgevoerd van oktober 2016 tot 1 december 2018 door de TU Delft en mede mogelijk gemaakt door de kennismiddelen vanuit het Convenant Bodem en Ondergrond 2016-2020. Dit project haakt aan bij het project uitvoering Duurzaam Stortbeheer (uDS) wat als doel heeft aan te tonen dat door toepassing van actieve stabilisatie, nazorg op stortplaatsen gereduceerd kan worden van oneindig lang naar een periode van 10-20 jaar. In dit project wordt het effect van de stabilisatiemethoden gedemonstreerd doormiddel van experimenten op vier grote schaal proefvelden. Het project uDS geeft (wereldwijd) een unieke kans om op praktijkschaal diepgaand onderzoek te doen naar het bereiken van eindige nazorg bij verontreinigde locaties. Dankzij de verkregen bijdrage vanuit de convenantsmiddelen heeft de TU Delft de unieke gelegenheid gekregen om aanvullende infrastructuur te installeren dat van groot belang is voor het uitvoeren van in-situ onderzoek op de locaties.

In dit project zijn vier werkpakketten uitgevoerd. In werkpakket *geofysica* is de bestaande meetinfrastructuur uitgebreid met een netwerk van geofysische sensoren voor 3 dimensionale volume metingen op stortvak schaal. Op vier proefvelden is een permanent grid geïnstalleerd van oppervlakte en boorgat elektroden waarmee de elektrische weerstand in volume afval (van enkele tien duizenden m³) gemeten kan worden met timelapse metingen. Deze metingen monitoren de dynamiek in weerstand in het afval teweeggebracht door het weer en de toegepaste stabilisatiemethoden wat vervolgens vertaald kan worden naar dynamiek in waterverzadiging. Op elk proefveld is ook een glasvezelkring (of loop) geïnstalleerd langs een subgrid van filterbuizen in de boorgaten. Met dit glasvezel netwerk kan in één meting het temperatuurprofiel langs elk boorgat in een subgrid gemeten kan worden. Verder zijn er in dit werkpakket CTD divers aangeschaft voor het meten van waterdruk, elektrische geleidbaarheid en temperatuur in de filterbuizen ter aanvulling op de weerstands en glasvezel metingen. Tevens zijn er ook kabels geïnstalleerd in twee drainagebuizen op één van de proefvelden zodat hierin ook gemeten kan worden via elektrische sensoren en CTD divers. Daarnaast kunnen via deze kabels buisjes in de drain gebracht worden waarmee percolaat op elke plek bemonsterd kan worden. De betreffende drainage buizen liggen onderin het afvalpakket op een diepte van ongeveer 17 meter en hebben elke een lengte van 400 m..

In het werkpakket *tracer testen* zijn voorbereidende (model) experimenten uitgevoerd, extra filterbuizen met weerstandssensoren en onverzadigdwatersamplers geplaatst op één van de proefvelden en aanvullende meetapparatuur voor o.a. gas tracertesten aangeschaft. Alle werkzaamheden in dit werkpakket zijn ter voorbereiding geweest op de tracer testen die in 2019 op de Kragge nabij Bergen op Zoom zullen worden uitgevoerd in samenwerking met de Universiteit van Southampton. Deze tracer testen zullen een schat aan informatie opleveren over de stroming van water en het transport van opgeloste stoffen in afvalpakketten.

Voor het langdurig opslaan van alle data die gegenereerd wordt tijdens de timelapse metingen maar ook door het reguliere monitoren van de pilotexperimenten door de afvalbeheerders is in werkpakket *DataLab* een database opgezet. Dit DataLab is een geïntegreerd open-source en open-access data- en documentbeheerssysteem dat de kwaliteit en consistentie van data voor lange periodes (> 10 jaar) waarborgt. Met de exploitanten van de pilot stortplaatsen zijn vergaande

afspraken gemaakt over het verdere beheer van dit DataLab gedurende het vervolg van de uDS pilots en het verdere introductie Duurzaam Stortbeheer programma.

In het laatste werkpakket is een aanvullend onderzoek gedaan om te kijken of de voorgestelde aanpak in het project uDS ook kansrijk is voor toepassing op andere IBC locaties en NAVOS stortplaatsen. In dit deelproject zijn percolaatgegevens van moderne stortplaatsen en gegevens over samenstelling van grondwater rondom voormalige stortplaatsen verzameld en in een database opgeslagen. Deze database is belangrijk voor de ontwikkeling van verder begrip en toetsing van modellen voor de lange-termijn uitloging uit vast afval. Een eerste verkenning van de gegevens laat een wisselend beeld zien voor verschillende stortplaatsen dat aanleiding vormt voor nader onderzoek. In de regel zijn de concentraties rondom voormalige stortplaatsen laag. Dit is geen verrassing want dat is al eerder geconstateerd tijdens het NAVOS-onderzoek. Alleen tijdens NAVOS werden de lage concentraties verklaard door 'natural attenuation'. Natural attenuation verklaart echter niet de lage concentraties aan Cl⁻ en is slechts beperkt een verklaring voor lage concentraties aan Nkj. Verdunning van de pluim met het grondwater lijkt veel belangrijker, dan tot dusver aangenomen.

1. Inleiding

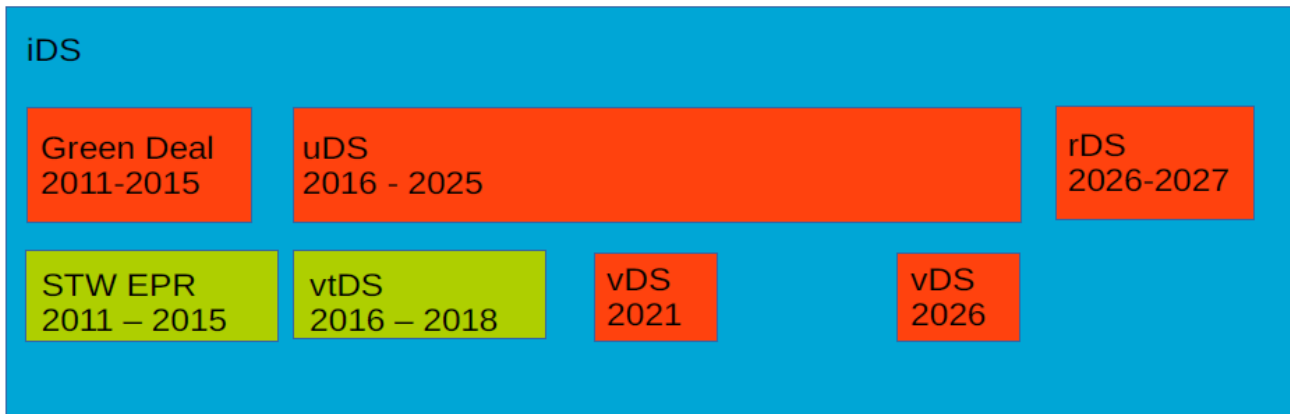
Dit rapport is het eindverslag van het project “Verbreiding toepassing duurzaam stortbeheer (vtDS)” dat sinds oktober 2016 is uitgevoerd door de Technische Universiteit Delft. Dit project is uitgevoerd binnen het kennis programma: Kennis- en Innovatieontwikkeling Bodem Ondergrond, zaaknummer 31122762.

1.1 Project Duurzaam Stortbeheer (iDS)

Op 6 oktober 2015 is de Green Deal Duurzaam Stortbeheer getekend. Deze green deal geeft het groene licht voor het uitvoeren van 3 pilot projecten op praktijkschaal gericht op het ontwikkelen van een op de lange termijn duurzaam alternatief voor het langetermijnbeheer van stortplaatsen. Het doel van de green deal is verwoord als volgt:

„Partijen overwegen dat het wenselijk is een experiment uit te voeren om te onderzoeken of met zogenaamd duurzaam stortbeheer, in aanvulling op de traditionele vormen van stortbeheer, door middel van brongerichte maatregelen en voorzieningen op bestaande stortplaatsen een substantiële vermindering van het emissiepotentieel naar bodem en (grond)water en daarmee ook een beperking van de noodzaak van nazorg kan worden bereikt. Dit is vastgelegd in artikel 17b, vierde lid, van het Stortbesluit. Bij duurzaam stortbeheer wordt na beëindiging van het storten geen traditionele bovenafdichting meer aangebracht, zoals artikel 4, vierde lid, van het Stortbesluit voorschrijft. Deze aanpak is een alternatief voor het vigerende beschermingsbeleid van stortplaatsen. Het experiment is gebaat bij een gemeenschappelijke aanpak en overeenstemming over de wijze van uitvoering, zoals weergegeven in deze Green Deal, omdat alle partijen belang hebben bij het welslagen ervan en bijdragen aan de financiering en organisatie.“

Aldus, is op 1 juli 2016 een periode van 13 jaar gestart waarin kennis en ervaring kan worden verkregen tijdens 3 pilot experimenten zodat als de experimenten succesvol blijken na beëindiging van de exploitatie op een stortplaats geen bovenafdichting meer hoeft te worden aangebracht. De exploitanten van de pilot locaties starten eind 2016 met het deelproject uitvoering Duurzaam Stortbeheer (uDS) en zullen dan ook starten met de installatie van de infrastructuur nodig voor de uitvoering van de pilot experimenten. Figuur 1 geeft een schematisch overzicht van alle deelprojecten in het programma introductie Duurzaam Stortbeheer (iDS) waarin ook de timing van deze business-case (verbreiding toepasbaarheid Duurzaam Storten (vtDS)) is aangegeven.



Figuur 1: Schematisch overzicht van de projecten in het programma introductie Duurzaam Stortbeheer. De afkortingen staan voor de volgende projecten: uDS (uitvoering Duurzaam Stortbeheer), vDS (verificatie Duurzaam Stortbeheer), rDS (regelgeving Duurzaam Stortbeheer), STW EPR (STW project Enhanced emission potential reduction of municipal solid waste landfills) en vtDS (verbreding toepasbaarheid Duurzaam Stortbeheer). De oranje kleur geeft aan deze projecten volledig worden gefinancierd door de stortsector, de groene kleur geeft aan dat de projecten zijn gefinancierd op basis van een bijdrage (op basis van een in-kind en cash bijdrage van de stortsector).

Het doel van uDS sluit naadloos aan bij het motto van het Convenant Bodem en Ondergrond 2016-2020: van saneren naar beheren. De scope van het convenant richt zich op duurzaam en efficiënt beheer, waarbij de bodem en ondergrond integraal onderdeel worden van de ruimtelijke ordening en het omgevingsbeleid. Er wordt meer ruimte gecreëerd voor beleid op thema's als gebiedsgericht beheer, grondwaterkwaliteit en minder dure nazorg. Dit is als volgt ook in de Green Deal verwoord:

„Het resultaat van het experiment is volgens artikel 17b, zesde lid, van het Stortbesluit dat informatie wordt verkregen over:

- *de mate van vermindering van het emissiepotentieel van de stortplaats die met duurzaam stortbeheer wordt bereikt;*
- *de mate van beperking van de nazorg na sluiting van de stortplaats die met duurzaam stortbeheer wordt bereikt;*
- *de methode waarmee het emissiepotentieel van de stortplaats betrouwbaar kan worden vastgesteld;*
- *een passende eindafwerking van de stortplaats in geval van toepassing van duurzaam stortbeheer.*

De stortplaatsexploitanten verzamelen tijdens het project veel data om stabilisatie en reductie van het emissiepotentieel van het stortlichaam te demonstreren. De voorgestelde activiteiten zijn uitgebreid beschreven in de plannen van aanpak (te vinden op de website van introductie Duurzaam Stortbeheer (iDS) <http://duurzaamstortbeheer.nl/> onder tab blad Lezen). De stortplaatsexploitanten voeren het project sober en doelmatig uit. De consequentie hiervan is dat er in de huidige begroting geen ruimte is voor aanvullende, meer experimentele onderzoeksmethoden of voor alternatieve manieren om het emissiepotentieel te reduceren. Voor bredere toepassing van de ontwikkelde concepten is dit onderzoek wel noodzakelijk. Wereldwijd is dit een uniek project, nog nooit is er op praktijkschaal op 3 verschillende stortplaatsen geprobeerd

om het emissiepotentieel te reduceren met de voorgestelde integrale aanpak. De haalbaarheid van het project wordt groot geacht omdat er wel een groot aantal projecten zijn gedaan op veel kleinere schaal waar naar deel aspecten is gekeken. Omdat in grote delen van de wereld, storten nog steeds de belangrijkste vorm van afvalbeheer is, is er ook internationaal zeer veel belangstelling voor de ervaringen die met deze drie pilotprojecten worden verkregen.

De stortplaatsexploitanten erkennen dat uDS een (wereldwijd) unieke kans vertegenwoordigt om op praktijkschaal diepgaand onderzoek te doen naar het bereiken van eindige nazorg bij verontreinigde locaties. Daarom hebben zij de locaties beschikbaar gesteld voor onderzoek door Nederlandse en internationale onderzoeksgroepen. Aanvullend onderbouwend wetenschappelijk onderzoek naar emissie-bepalende in-situ processen in het stortlichaam is van belang draagvlak te ontwikkelen voor een bredere toepassing van de achterliggende concepten. In 2016 en 2017 hebben de stortplaatsexploitanten de pilot projecten ingericht en opgestart. Dankzij de verkregen bijdrage vanuit het Bodemconvenant heeft de TU Delft van deze unieke gelegenheid gebruik gemaakt om aanvullende infrastructuur te installeren dat van groot belang is voor het uitvoeren van in-situ onderzoek op de locaties. Door de onderzoeksinfrastructuur te installeren tegelijkertijd met de infrastructuur van de stortplaats exploitanten is het mogelijk geweest om aanzienlijk op kosten te besparen.

1.2 Doelstelling

Een belangrijk selectie criterium voor de drie pilotlocaties was de aanwezigheid van infrastructuur om emissies naar omgeving te beperken. Deze randvoorwaarde is uniek voor het voorgestelde onderzoek naar emissiepotentieel omdat de massabalans in experimenten op de locaties in principe kan worden gesloten. Het concrete doel van deze business-case is om de basis te leggen voor meer uitgebreid verdiepend in-situ onderzoek naar het demonstreren dat het emissiepotentieel wordt verlaagd in de stortlichamen op de drie pilot locaties door:

- het optimaliseren van bestaande meetinfrastructuur en het plaatsen van aanvullende meet en monitoringsinfrastructuur (WP 1);
- het opstarten van een aantal langjarige tracer testen om de aannames ten aanzien van de preferentiële stroming van water en gas (stortgas én zuurstoflucht) door de stortlichamen te bevestigen (WP 2);
- de bestaande databeheerssystemen opwaarderen naar een geïntegreerd open-source en open-access data- en documentbeheerssysteem gebaseerd op de uitgangspunten van een DataLab (WP 3);
- het uitvoeren van aanvullend onderzoek op andere IBC locaties en NAVOS stortplaatsen om de te kijken of de voorgestelde aanpak ook kansrijk is voor dergelijke nazorg locaties (WP 4).

Hiermee worden voorwaarden gecreëerd op de drie pilot locaties die het aantrekkelijk maken voor (internationale) onderzoeksgroepen om met zelf verworven financiering onderzoek te komen doen. Een uitdrukkelijke voorwaarde voor externe partijen om onderzoek te mogen doen is dat alle oude en nieuwe gegevens en rapporten in het DataLab gedeeld worden.

Gezien de korte looptijd van dit project en de lange duur van het uit te voeren wetenschappelijk onderzoek, moet benadrukt worden dat de doelstelling van dit project vooral de installatie van de wetenschappelijke infrastructuur en het opzetten van een DataLab is.

De vraag hoe we eindige nazorg bij verontreinigde locaties vorm geven zal de komende decennium stap voor stap worden beantwoord. Het beschikbaar hebben van een drietal state of the art locaties voor verdiepend en toegepast onderzoek is van onschatbare waarde om het maatschappelijke draagvlak voor dit soort innovaties te vergroten. Kennis zal altijd een belangrijke tool zijn om bodemkwaliteitszorg te ondersteunen. Stapsgewijze reductie in onzekerheid, vereist het ontwikkelen van proceskennis, inzicht in de variatie dat ontstaat door heterogeniteit en hoe dit emissies vanuit de locatie beïnvloedt. Stortplaatsen zijn bijzondere verontreinigde locaties, echter, veel van de processen in stortlichamen treden ook op in andere locaties. Stapsgewijze reductie van nazorg kan alleen in dialoog met alle partijen plaatsvinden. In dialoog kan draagvlak verkregen worden om de stappen te definiëren die nodig zijn om naar de volgende fase in nazorg te groeien. Gegeven de traagheid van het bodemsysteem, zullen deze stappen over vele jaren plaats moeten vinden. Binnen het iDS programma is veel aandacht voor de ontwikkeling van de wijze waarop dit dialoog wordt gevoerd. Samenwerking, gedeeld belang, kennisoverdracht en transparantie zijn sleutelwoorden in deze.

Het is evident dat (al of niet eeuwigdurende) nazorg een belangrijke pijler is voor het oplossen van het bodemverontreinigingsprobleem in Nederland. Data- en documentbeheer dat de tand des tijds kan weerstaan is een belangrijke uitdaging waar in het iDS programma veel aandacht aan wordt besteed. In deze business-case wordt daarnaast vooral aandacht besteed aan het vastleggen en borgen van de historische, actuele en toekomstige situatie van de pilot locaties op een eenduidige en min of meer uniforme wijze. Een belangrijk probleem wat aandacht zal krijgen is dat digitale formaten langjarig toegankelijk blijven.

1.3 Aansluiting bij het UP en Kennisagenda

Het overkoepelende project iDS (waarbinnen vtDS wordt uitgevoerd) richt zich op het ontwikkelen van een alternatieve aanpak van de nazorg bij stortplaatsen. Hierbij is het streven om uiteindelijk een situatie te bereiken waarbij actieve nazorg kan worden beëindigd. Het is zeer aannemelijk dat inzichten opgedaan in dit project relatief eenvoudig zijn te vertalen naar andere IBC en verontreinigde locaties (zoals bijv. NAVOS-locaties) met langjarige nazorg. Deze aanpak sluit volledig aan bij de visie van het UP (Uitvoeringsprogramma Convenant Bodem en Ondergrond 2016-2020) ten aanzien van het afbouwen van een monosectorale saneringsinspanning en het opbouwen van een breed maatschappelijk gedragen benutting van de beschikbare ruimte met een verantwoordelijke zorg voor bodem en ondergrond.

Deze business-case sluit vooral aan bij artikel 9 van het UP waar het doel om de nazorgmaatregelen op een (milieuhygiënisch) verantwoorde wijze te verminderen. De kennis en ervaring opgedaan in het iDS project zal van groot belang zijn voor het reduceren van de nazorg bij overige locaties zoals verwoord in de TCB-adviezen over duurzaam stortbeheer en de aanpak van IBC locaties [TCB 2012; TCB 2013a,b,c; TCB 2015].

Deze business-case valt binnen het thema Bodemkwaliteitszorg van de kennisagenda Bodem en Ondergrond. Het thema van het convenant bodem en ondergrond 2016-2010 is van saneren naar beheren. Omdat we in Nederland een groot aantal locaties hebben waar bodemverontreiniging beheerd moet worden om het risico voor mens en milieu acceptabel te houden is een goede methode van nazorg van groot belang. Om dit beheer te optimaliseren is het noodzakelijk om breder naar de situatie te kijken dan we tot nu toe hebben gedaan. Overal waar verontreinigde locaties beheerd worden zal er sprake zijn van verspreiding. Welke verspreiding is acceptabel van uit milieuhygiënisch perspectief? Hoe zeker zijn we dat de actuele verspreiding hier aan voldoet?

Is er een kans dat deze situatie in de toekomst zal veranderen? Wat zijn de maatregelen die nodig zijn om de situatie acceptabel te houden? Wat kost dit?

Om de nazorg te verminderen is het van belang adequate antwoorden te geven op de bovenstaande vragen. Ervaring leert dat in de praktijk de nazorg stapsgewijs wordt afgebouwd. Bij aanvang, op het moment dat we het minste weten van de locatie zijn de voorgestelde maatregelen robuust, en veelal overgedimensioneerd, bijvoorbeeld bij IBC locaties. Tijdens de nazorg krijgen we meer ervaring over het gedrag van de locatie. Hierdoor wordt het mogelijk om stapsgewijs de nazorg te verminderen. Helaas is het zo, dat deze stapsgewijze reductie in nazorg vrijwel nooit als doel is geformuleerd voor de nazorg. Hierdoor is het erg moeilijk om de ervaring met het gedrag van de locatie inhoudelijk te onderbouwen.

Binnen het iDS project wordt door het toepassen van actieve maatregelen de potentiële emissies vanuit verontreinigde locaties beheerst. Het doel is om stapsgewijs een reductie in actieve nazorg te realiseren. Dit is van belang om de toekomstige kosten voor de zogeheten IBC locaties voor de lange duur beheersbaar te houden. De stapsgewijze reductie in nazorg is gebaseerd op een methode waarbij de gemeten veranderingen in het emissiegedrag van de locatie gebruikt worden om de onzekerheid t.a.v. het toekomstige emissie gedrag op een inzichtelijke manier te reduceren. In dialoog met de maatschappelijke partners wordt op basis van deze toegenomen zekerheid over het emissiegedrag van de locaties de nazorg geoptimaliseerd. De themaoverstijgende onderwerpen waar deze business-case aan bijdraagt zijn:

- Het ontwikkelen en overdragen van kennis en vaardigheden van uit kennisinstituten naar bedrijfsleven en overheden;
- Het ontwikkelen van methoden voor data- en informatievoorziening die waarborgen dat alle stappen van ruwe data tot informatie, traceerbaar en reproduceerbaar zijn. De nadruk ligt daarmee op de betrouwbaarheid en de beschikbaarheid van data. Daarnaast wordt aandacht besteed aan wat we kunnen met deze data en informatie. Betrouwbare gegevens reduceren de onzekerheid in de verwachting over het toekomstig emissie gedrag van een locatie. Deze aspecten worden relevant geacht voor de Kennisagenda.

Het overkoepelende project iDS beoogt daarbij ook nog bij te dragen aan de themaoverstijgende onderwerpen:

- Landgebruik en landmanagement. Naast het reduceren van nazorg is het realiseren van hoogwaardiger gebruik een belangrijk doel van het project iDS.
- Veiligheid en gezondheid. Voor het project iDS zijn door ECN/RIVM milieuhygiënische doelen gesteld op basis van ecotoxicologische uitgangspunten. De resterende nazorg is daarmee direct gekoppeld aan kwantitatieve locatiespecifieke doelen voor menselijke gezondheid en milieu. De door ECN/RIVM ontwikkelde methodiek wordt op de pilotstortplaatsen getest, maar is toepasbaar op vrijwel alle situaties van bodemverontreiniging.
- Omgaan met onzekerheden. Het lange termijn gedrag kent veel onzekerheden. Kosteneffectieve nazorg is gebaseerd op het zo snel als mogelijk reduceren van de onzekerheid in lange termijn gedrag en een zo nauwkeurig mogelijke vaststelling van de resterende onzekerheid.

Deze business-case valt ook binnen de pijler Kennis- en Innovatieontwikkeling welke projecten wil stimuleren waarbij proactieve derden samenwerken van (decentrale) overheden, probleemhebbende en probleemoplossende bedrijven en onderzoeksinstituten. Blijkens de Green Deal en de langdurige en blijvende betrokkenheid van universiteiten en onderzoeksinstituten is maatschappelijke dynamiek verankert in het project uDS. Een hoge multiplier op de vanuit het convenant te investeren middelen is gewaarborgd. In de Green Deal Duurzaam Stortbeheer is tussen landelijke overheid, decentrale overheden en bedrijvende de intentie vastgelegd om bij voldoende resultaat de verkregen kennis te verankeren in de regelgeving. Daarmee is optimaal op kennisdoorwerking geanticipeerd.

Het karakter van de kennisvragen die we oplossen met deze business-case is instrumenteel, technisch en evaluerend van aard en past daarmee in multipliegroep 2 en/of 3. We willen uitdrukkelijk benadrukken dat deze business-case niet gericht is op fundamenteel onderzoek! De opwaardering van de drie pilotlocaties is vooral gericht om toegepast verdiepend onderzoek mogelijk te maken. Het doel is door op een beperkt aantal goed gecontroleerde locaties intensief onderzoek te doen, inzichten te verdiepen, en op basis van deze inzichten generiek toepasbare concepten te ontwikkelen waarmee de methoden kunnen worden toegepast op een groot aantal andere locaties. De urgentie van deze business-case was groot omdat er van 1 juli 2016 tot voorjaar 2018 zich de unieke gelegenheid voordeed om te profiteren van de samenloop met het opstarten van de reguliere programma van uDS door Afvalzorg en Attero.

1.4 Hypothese

Omdat de hypothese die de basis vormt voor iDS ook van groot belang is voor deze business-case wordt deze hier kort samengevat. De vracht van percolaatmissies vanuit een stortlichaam wordt bepaald door de concentratie en het volume van het percolaat dat de bodem instroomt. Het bestaande IBC beleid richt zich alleen op het reduceren van het volume van percolaat dat de bodem instroomt door het aanleggen van vloeistofdichte afdichtingen en het gedurende de actieve fase van een stortplaats het afpompen en (laten) behandelen van het percolaat. Bij het ontwikkelen van een methode van eindige nazorg is het juist van belang om de concentratie in het percolaat te verlagen. Op de drie pilot projecten wordt dit gedaan door actieve percolaat infiltratie en recirculatie en beluchting. Als er meer water door het stortlichaam spoelt, loogt er een groter hoeveelheid aan oplosbare stoffen uit. Om uitspoelen te bevorderen zal percolaat regelmatig worden afgevoerd en vervangen door schoon water. Naast percolaat infiltratie wordt ook het stortlichaam belucht, waarbij door introductie van zuurstof aerobe afbraak van organisch materiaal plaatsvindt. Beluchting wordt gestart als uit de methaanonttrekking op de locatie blijkt dat stimuleren van anaerobe afbraak niet meer leidt tot een economisch renderend exploitatie van het onttrokken stortgas. Aerobe afbraak in het stortlichaam heeft een groot effect op het opgelost organische stof (DOM, Dissolved Organic Matter) en het ammonium gehalte in het percolaat.

De laatste jaren is het besef ontstaan dat preferentiële stroming een bepalende factor is hoe water door stortlichamen stroomt. In de wetenschappelijke literatuur wordt de mate van preferentiële stroming aangeduid door middel van percentage doorstroomd volume en voor stortplaatsen op praktijkschaal zijn getallen gerapporteerd van minder dan 2% tot ongeveer 30%. Een grote mate van preferentiële stroming vindt plaats bij een klein doorstroomd volume. Dit volume spoelt heel erg snel schoon (met schoon regenwater). Het percolaat aan de onderkant van het stortlichaam is het water dat in het drainage systeem terecht komt. De kwaliteit van dit percolaat wordt bepaald door de trage diffusie van stoffen vanuit de bulk van het stortlichaam naar het preferentieel

stromende water. Langzaam stromend water, heeft een lange verblijftijd in het afvalpakket en daarmee een lange uitwisseltijd. De concentraties in percolaat gevormd door langzaam stromend water liggen hoger dan percolaat concentraties in snel (preferentieel) stromend water. In een klimaat met een neerslag overschot zoals in Nederland leidt preferentiële stroming tot een verlaging van de concentraties in het percolaat. Op de drie pilot projecten blijkt uit lange termijn monitoring van percolaat kwaliteit dat er duidelijk sprake is van preferentiële stroming.

Bij een hoog watergehalte in een stortlichaam zal meer vaste organische stof hydrolyseren en daarmee beschikbaar komen voor biologische afbraak dan bij een laag watergehalte. DOM kan door complex vorming de concentraties van stoffen zoals zware metalen en organische microverontreinigingen in het percolaat aanzienlijk verhogen. Opgeloste organische moleculen worden afgebroken door micro-organismen aanwezig in het water in het afvalpakket, hetgeen in anaerobe stortplaatsen leidt tot de vorming van methaan. Biologische afbraak zal op den duur zorgen voor een verlaging in DOM gehalten en daarmee tot lagere totaal concentraties in het percolaat.

1.5 Uitvoering van de business-case

Tijdens de opstartfase van uDS is veel geboord en gegraven op de drie pilot locaties. Het is aannemelijk dat deze activiteiten een groot effect heeft op het gedrag van het stortlichaam. Het in detail meten van het effect van deze activiteiten in de tijd op verschillende plaatsen in het stortlichaam en in het drainagesysteem tijdens deze business-case is daarom een unieke kans voor in-situ proces onderzoek in stortlichamen. Deze kans is uniek omdat er de afgelopen 4 jaar in het kader van iDS een uitgebreid nulonderzoek is uitgevoerd waarmee het “gewone” gedrag van de locaties is vast gelegd. In de plannen van aanpak is uiteraard voorzien in monitoring, alleen zoals eerder gezegd is deze sober en doelmatig en vooral gebaseerd op bewezen technologie en methoden. In deze business-case hebben we deze monitoring uitgebreid met een range aan andere metingen en experimenten om de informatie dichtheid t.a.v. de optredende in-situ processen aanzienlijk te vergroten. Dit hebben we gedaan in twee werkpakketten: geofysica (**WP 1**) en tracertesten (**WP 2**).

Naast het aanleggen van extra meet- en monitoringsinfrastructuur en het opstarten van langdurige tracer experimenten is een solide databeheerprogramma van groot belang. Vooral het borgen van de informatie voor de (zeer) lange termijn is een uitdaging. Voor de dialoog met alle betrokkenen over de stappen die te nemen zijn in het kader van (het afbouwen van) de nazorg is het belangrijk dat de informatie waarop besluiten zijn gebaseerd een hoge betrouwbaarheid en kwaliteit heeft. De zogeheten “chain of custody” moet zijn geborgd. Dit vereist dat alle stappen van ruwe data tot informatie, traceerbaar en reproduceerbaar moeten zijn. In het uDS project zullen de bestaande databeheersystemen van de drie locaties worden geïntegreerd in een zogeheten DataLab zodat alle gegevens die verzameld worden in de komende 10 jaar voldoen aan de “chain of custody”. In werkpakket 3 (**WP 3**) van deze business wordt gekeken hoe een dergelijk DataLab vormgegeven moet worden en hoe de aanwezige historische gegevens geïntegreerd kunnen worden in het DataLab.

Een belangrijke voorwaarde voor stortplaatsen om in aanmerking te kunnen komen voor Duurzaam Stortbeheer is de aanwezigheid van een goed functionerende onderafdichting gedurende de stabilisatiefase van de nazorg. Als de stabilisatiefase succesvol is, dan is de onderafdichting niet meer nodig, omdat er geen onacceptabele emissies meer kunnen optreden. In Nederland zijn er veel voormalige stortplaatsen waar afval is gestort zonder bodemafdichting. Deze locaties zijn onderzocht in het NAVOS project. In werkpakket 4 (**WP 4**) van deze business-

case is er een beperkt onderzoek gedaan naar NAVOS locaties om de verbreding van de toepasbaarheid van de iDS concepten te toetsen.

2. Pilot projecten iDS

De uitvoering van het project Duurzaam Stortbeheer vindt plaats op de pilot locaties Braambergen in de buurt van Almere, Wieringermeer in de buurt van Medemblik en de Kragge in de buurt van Bergen op Zoom. Op deze locaties zijn 5 proefvelden ingericht voor het testen van de methoden om stortlichamen te stabiliseren: 11N, 12 en 11Z (Braambergen), compartiment 6 (Wieringermeer) en compartiment 3 (de Kragge). In dit project hebben we extra infrastructuur geplaatst op proefvelden 11N, 11Z, 6 en 3. Hierdoor zijn deze 4 proefvelden voorzien van hoogwaardige in-situ monitoringsinfrastructuur. Tabel 1 geeft een overzicht van enkele achtergrondgegevens van de betreffende stortvakken.

2.1 Beluchting

Op Braambergen en Wieringermeer wordt het afvalpakket gestabiliseerd doormiddel van beluchting op twee manieren: 1) lage druk beluchting en 2) over-extractie. Beide methoden vragen om gasfilterbuizen die alleen aan de onderkant een filter bevatten. Bij over-extractie wordt 5 tot 10 keer meer gas onttrokken dan wat normaal als stortgas geproduceerd wordt. Hierdoor zal lucht uit de atmosfeer in het afvalpakket gezogen worden. Tijdens lage druk beluchting worden gasfilters in paren gebruikt waarbij door het ene filter lucht wordt geïnjecteerd en door het andere lucht wordt onttrokken. Het injectie / onttrekkingssysteem wordt geregeld zodat de hoeveelheid onttrokken lucht altijd 10 procent hoger ligt dan de hoeveelheid geïnjecteerde lucht, dit om ongewenste verspreiding van stortgas te voorkomen. In beide systemen wordt het uitlaatgas behandeld zodat methaanemissies en stank minimaal zijn. Bovenaanzichten van de geïnstalleerde gasfilterbuizen op Braambergen en Wieringermeer zijn te zien in respectievelijk figuur 11 en 12 in bijlage A.

2.2 Percolaatrecirculatie

Op de Kragge wordt het afvalpakket behandeld door percolaat te recirculeren. Hierdoor wordt in het afvalpakket, de afbraak van organisch materiaal gestimuleerd. Om de verwijdering van ammonium in het percolaat te maximaliseren wordt het percolaat voor infiltratie behandeld in een afvalwaterzuiveringsinstallatie. De zuivering maakt gebruik van twee proces stappen, nitrificatie gevolgd door een Anammox processtap. De helft van het effluent van de nitrificatie reactor wordt langs de Anammox reactor gestuurd. Dit heeft tot gevolg dat met het percolaat dat wordt geïnfiltreerd ook nitriet in het afvalpakket komt. De gedachte is dat hiermee ook de Anammox proces in het afvalpakket op gang wordt gebracht. Om chloride uit het afvalpakket te verwijderen is het nodig om per jaar ca. 500 mm gezuiverde percolaat te lozen op het riool. Het percolaatvolume wordt vervolgens weer aangevuld met schoon regen- of grondwater dat beschikbaar komt op de locatie als oppervlakkige afstroming op de reeds afgedichte compartimenten op de Kragge locatie.

Het percolaat infiltratiesysteem op de Kragge bestaat uit 14 parallelle infiltratiedrains ingegraven in de bovenafdichting. Deze buizen liggen ca. 20 m van elkaar verwijderd en bedekken de totale oppervlakte van compartiment 3. Percolaat wordt verzameld in het drainagesysteem en wordt vervolgens door de waterzuivering geleid en vervolgens naar een waterbuffer boven op compartiment 3 gepompt. Vanuit hier wordt het percolaat verdeeld over de infiltratiebuizen en via zwaartekracht geïnfiltreerd in het afvalpakket. Alle percolaatstromen worden met een hoge

frequentie gemeten. Een schets van het infiltratiesysteem boven op compartiment 3 is te vinden in figuur 13 in bijlage A.

2.3 Naleving en monitoring

Via een convenant met de overheid hebben de stortplaatsbeheerders Afvalzorg en Attero zich gebonden aan een intensief monitoringprogramma. De monitoring van veel parameters geschiedt met een zeer hoge (15 minuten) tot hoge (14 dagen) tijdsresolutie. Alle data (inclusief meta-data) die verzameld wordt tijdens het iDS project is beschikbaar gesteld voor deze business-case en wordt opgenomen in het DataLab.

Tabel 1: Details van de proefvelden voor iDS

	Braambergen	Wieringermeer	Kragge
Stad	Almere	Medemblik	Bergen op Zoom
Aantal proefvelden	3 (11N, 11Z en 12)	1 (compartiment 6)	1 (compartiment 3)
Totale oppervlakte	ca. 9.7 ha	ca. 2.6 ha	ca. 5.6 ha
Operationele periode	1999-2008	1992-1998	1990-2008
Totale hoeveelheid afval	1.216.723 ton	281.083 ton	999.880 ton
Hoogte stortplaats	15m	12m	17m
Type bovenafdichting	Aarde, bodemas, jet-grout (1-1.5m)	Aarde (1-1.5m)	Zandachtig materiaal (0.5-1m)
Stortgasextractiesysteem	36 gasfilters	2 gasfilter + 1 gedeeld	17 gasfilters
Type onderafdichting	Combinatie van mineraal (50 cm zand-bentoniet) en 2 mm HDPE folie	2 mm HDPE folie	2 mm HDPE folie
Percolaatcollectiesysteem	3 gescheiden drainagesystemen voor 11N, 11Z en 12 (3 pompputten).	Gescheiden drainagesysteem voor compartiment 6 (1 pompput)	Gescheiden drainagesysteem voor compartiment 3 (1 pompput)
Beluchtingssysteem	Ja 11N en 12: afstand tussen filters ca. 20 m (totaal aantal 54 op 11N en 45 op 12) 11Z: afstand tussen filters ca. 15.5 m (totaal aantal 132)	Ja Afstand tussen filters ca. 14 m (totaal aantal 123)	Nee, nog niet
Percolaatinfiltratiesysteem	Nee	Nee	Ja

3. Realisatie werkpakket WP 1: Geofysica

3.1 Achtergrond

Wetenschappelijk onderzoek heeft aangetoond dat er veel monitoringsmethoden beschikbaar zijn waarmee de ruimtelijke variatie van het gedrag van stortplaatsen in kaart gebracht kan worden. Zo zijn in het STW onderzoek binnen iDS (STW-EPR), met succes geofysische methoden toegepast (Electrical Resistivity Tomography (ERT), Induced Potential Tomography (IP), Hoge Resolutie Seismography (HRS) [Konstantaki 2016; Konstantaki et al. 2013 en 2014; Korteland 2013; Korteland en Heimovaara 2015]). De ontwikkelingsstatus en de kostprijs van deze methoden is op dit moment nog niet van dien aard dat routinematige toepassing mogelijk is. Echter, het kunnen plaatsen van ERT en IP elektroden tegelijkertijd met de regulier geplande boringen voor de pilot projecten verlaagt de kosten aanzienlijk. Ook ontstaat er dan een unieke infrastructuur voor het doen van zogeheten 3D time-lapse geofysische metingen. De combinatie van meerdere metingen in de tijd met een 3D verspreiding geeft een veel hogere meet resolutie dan tot nu toe gebruikelijk is. Omdat de randvoorwaarden van de locaties actief worden beïnvloed zijn veranderingen in de tijd goed te verklaren. Met deze methoden is de ruimtelijke spreiding van preferentiële stroming te bepalen.

Temperatuur is een ander signaal dat veel informatie geeft over het verloop van de in-situ processen in het stortlichaam. Temperatuur op een bepaald punt is te meten met zogeheten thermokoppels, echter gezien de omvang van de pilotlocaties zijn zeer grote aantallen thermokoppels nodig. Temperatuur is ook te meten met glasvezel kabels met de Differential Thermal Sensing (DTS) techniek. Door tegelijkertijd met het plaatsen van gas en percolaat infiltratie filters een glasvezel kabel te installeren in deze business-case is het mogelijk om de temperatuur verdeling langs het boorgat te meten.

3.2 Realisatie

Figuur 2 geeft schematisch weer hoe op ieder proefveld de ERT-sensoren langs de beluchtingsfilters zijn geplaatst. De ERT grids op Wieringermeer en Braambergen (11N en 11Z) omvatten 35 beluchtingsfilters in een grid van 7x5. Langs elk filter zijn ERT/IP-elektrodes geplaatst met een spreiding van 2 m en alle elektrodes per filter komen bovengronds samen in een waterdichte connector. Het ERT grid op Kragge bestaat uit ERT-sensoren geplaatst langs 12 beluchtingsfilters. De TU heeft een eigen type ERT-sensor ontwikkeld die bestand is tegen langdurige blootstelling aan percolaat en in situ afvalcondities. Deze sensor bestaat uit een koolstofvezeldraad (contactpunt met het afval/percolaat) welke waterdicht is gekoppeld aan een koperdraad (figuur 3). Er zijn ook ERT-electroden geplaatst op de Kragge langs de extra filters die geplaatst zijn voor het werkpakket tracertesten (in samenwerking met de universiteit van Southampton). Ook langs deze filters zijn de ERT-electroden elke 2 m geplaatst.

Op de proefvelden Wieringermeer, de Kragge en Braambergen 11Z zijn ook permanente grids met ERT-oppervlakte elektroden geplaatst. Deze grids vallen samen met een selectie van ERT elektroden langs de filterbuizen waardoor er op elke locatie een permanent 3D ERT meetgrid aanwezig is. De meetgrids zijn afgeschermd met schelpen of anti-worteldoek zodat er niet gemaaid hoeft te worden. Figuur 4 laat een foto zien van het grid geïnstalleerd op Wieringermeer.

Het ERT systeem aangeschaft in het aan vtDS voorafgaande STW-project is uitgebreid met de Switch Pro 144 met bijbehorende kabels en benodigdheden zodat alle 216 elektroden in een 3D grid tegelijkertijd gemeten kunnen worden. Ook is er een robuuste, roestvrijstalen meetkast aangeschaft inclusief o.a. lang houdbare accu's en apparatuur voor draadloze sturing en export van meetdata. Met de permanente velden en de op afstand bestuurbare meetkast kan de dynamiek in waterverzadiging tijdens de pilot experimenten gevolgd worden via time-lapse ERT met een acceptabele arbeidsinspanning. Er kan bijvoorbeeld een maand lang gemeten worden op één van de locaties terwijl vanuit de TU de data wordt binnengehaald en meetprotocollen worden gestart en/of aangepast. De velden zijn verder zo ingesteld dat een voldoende groot volume van het afvalpakket gemeten kan worden.

Op alle drie pilot locaties is een nulmeting van de elektrische weerstand uitgevoerd voordat de behandelmethodes waren gestart. In de zomer van 2018 is ook een eerste serie 3D timelapse metingen uitgevoerd op alle locaties. De timelapse ERT metingen geven inzicht in de dynamiek en distributie van water dat door de proefvelden heenloopt door natuurlijke precipitatie en door de behandelmethoden. De dynamiek in distributie van elektrische weerstand in het afvalvolume correleert aan dynamiek in waterverzadiging. Deze dynamiek kan vervolgens vergeleken worden met de waterbalans gemeten door de beheerders (via weerstation en percolaatproductie). Alle meetdata, meetprotocollen en analyse software is opgeslagen in de database ontwikkeld in werkpakket 3.

Op de Kragge is ook in één van de percolaat drainagebuizen (buis 9) een ERT electrode kabel van 100 m geïnstalleerd met een afstand tussen de elektroden van 3 m. Deze kabel loopt precies onder het ERT grid met oppervlakte elektroden door en geeft dus de mogelijkheid tot nog hogere resolutie 3D metingen. Dit is uniek op het gebied van stortplaatsonderzoek. Er is gekozen om op de Kragge deze opstelling te installeren omdat door de percolaat recirculatie hier de meeste dynamiek in waterverzadiging wordt verwacht.

Langs de filterbuizen op elk proefveld is ook een glasvezelkabelloop geplaatst waarmee langs de gehele kabel temperatuur gemeten kan worden via een DTS-meting. Op Braambergen en Wieringermeer is langs elke tweede filterbuis een glasvezelkabel geplaatst en op Kragge langs iedere filterbuis. Een illustratie van een DTS-loop is weergegeven in figuur 2. Een robuuste, 12 fiber kabel met een kleine buigingsradius (1 cm) is gebruikt. De kabel zal goed blijven functioneren over een lange tijdsperiode en omdat er meerdere fibers beschikbaar zijn is het mogelijk om subloops aan te sluiten. Om DTS te kunnen uitvoeren is een *state-of-the-art* meetmachine aangeschaft met een hoge temperatuur- (0.1 °C) en afstandsresolutie (0.25 cm): de Ultima-XT DTS. Elk proefveld heeft één aansluitpunt voor de Ultima-XT vanuit waar de hele loop binnen 10 seconden doorgemeten kan worden. Op Braambergen zijn de DTS loops van beide proefvelden (11N en 11Z) zelfs aan elkaar gekoppeld zodat beide velden in één keer vanuit een centrale locatie doorgemeten kunnen worden.

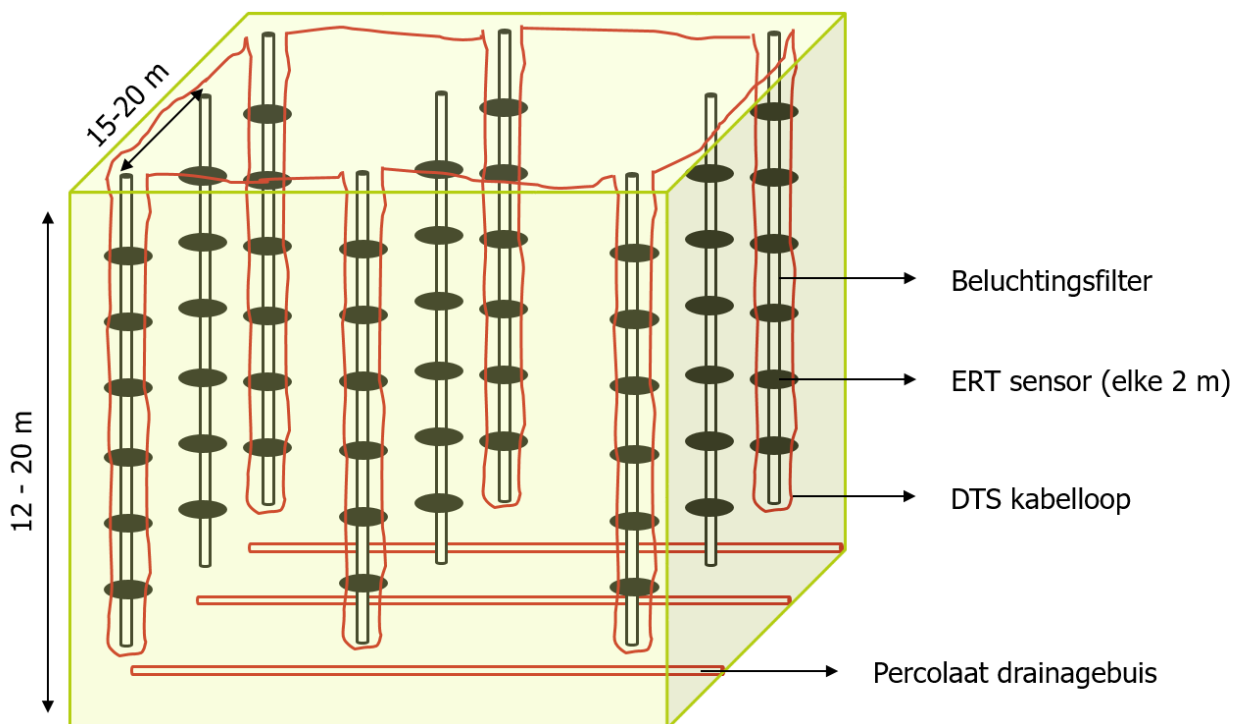
Ook de verandering in temperatuur per proefveld wordt gemeten door het uitvoeren van timelapse metingen. Een DTS-nulmeting is uitgevoerd voor de start van de behandelmethoden en tijdens de tweede helft van 2018, is op elk proefveld een timelapse uitgevoerd met een resolutie van 1x per week. Dit is een relatief hoge resolutie gegeven de dynamiek in temperatuur in een stortplaats. De gemeten veranderingen in temperatuur zijn direct gecorreleerd aan de activiteit van de biochemie in het afvalpakket. Stimulatie van bioactiviteit door van beluchting en percolaat recirculatie leidt tot een hogere productie van warmte wat weer leidt tot een verhoogde temperatuur. Zeker in het geval

van beluchting kan dit leiden tot sterk verhoogde temperaturen binnen een relatief korte tijdsperiode. Met de geïnstalleerde DTS-infrastructuur bestaat nu de mogelijkheid om de impact van het stabiliseren van het afvalpakket zowel ruimtelijk als in de tijd te volgen met een hoge resolutie. Ook kunnen wij tot op zekere hoogte, veranderingen in waterverzadiging door percolaat recirculatie (infiltratie van warm water) en veranderingen als gevolg van beluchting (kan tot uitdroging leiden) volgen via DTS. De gemeten data, de ontwikkelde meetprotocollen en de ontwikkelde analysesoftware is opgeslagen in de database ontwikkeld in werkpakket 3.

Als aanvulling op de monitoring van waterverzadiging en bioactiviteit via ERT en DTS, is er ook een set van 13 CTD divers aangeschaft. Hiermee kan met een hoge nauwkeurigheid en tijdsresolutie, waterdruk, temperatuur en elektrische geleidbaarheid gemeten worden in filterbuizen en de drainagebuizen. De divers zijn gemakkelijk te installeren en meten automatisch voor een lange periode. Deze gegevens worden gebruikt om de ERT en DTS timelapse metingen te verifiëren. Daarnaast zijn deze divers nodig om het ontwerp van de tracer experimenten in het werkpakket tracertesten te onderbouwen.

De ERT en DTS-proefvelden zijn aangelegd met robuuste materialen (bestand tegen corrosie en percolaat kwaliteit). Daarnaast zijn kabels extra beschermd door HDPE buizen en/of het ingraven in de deklaag. Dit is gedaan om ervoor te zorgen dat de extra meetinfrastructuur functioneel blijft tijdens de gehele periode van het iDS project (~10 jaar). Een gedetailleerde beschrijving van de DTS en ERT meetgrids is te vinden in Bijlage A.

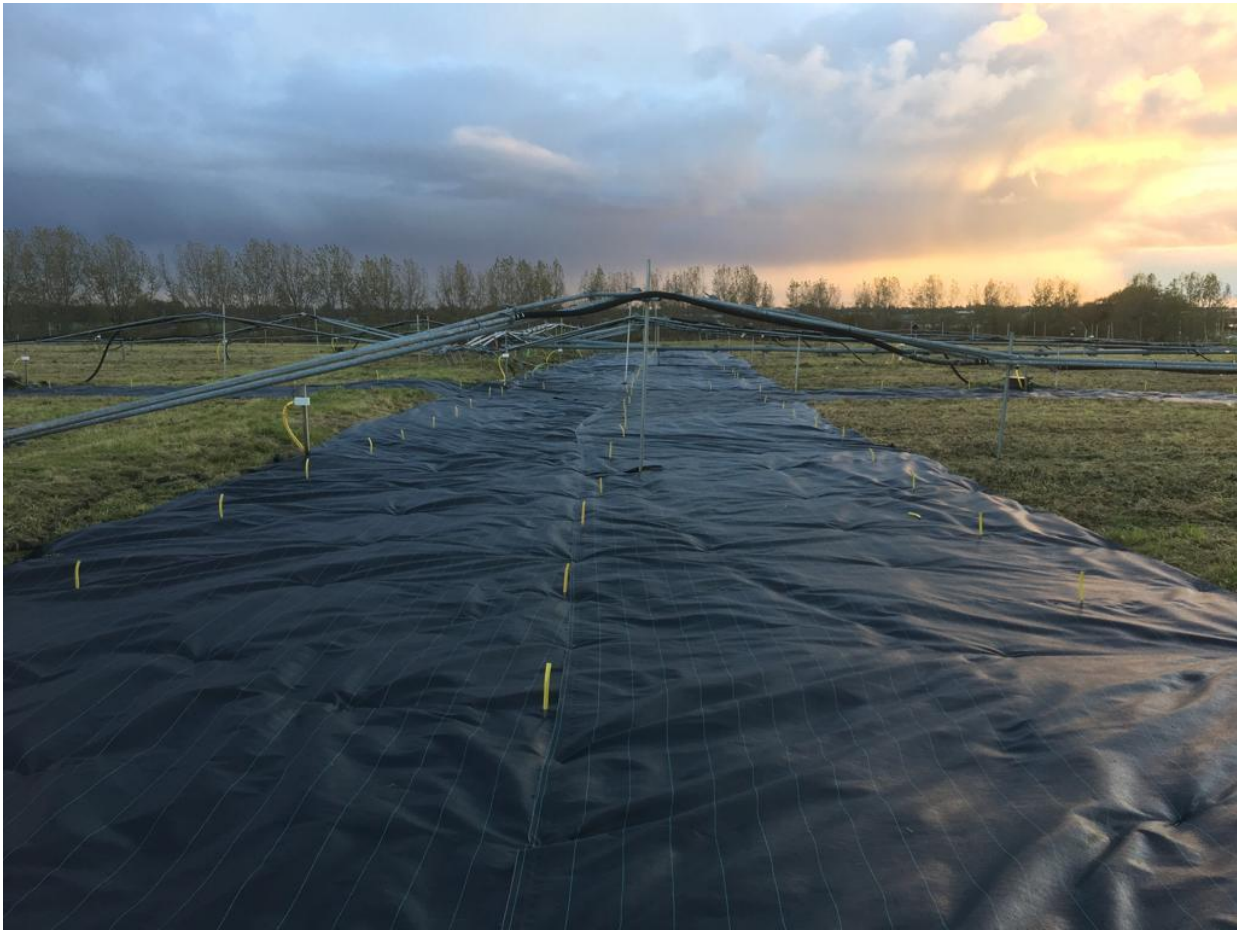
Onze ambitie is de ERT & DTS timelapse metingen, de ontwikkeling van analysemethoden en data interpretatie en publicatie voort te zetten in vervolg projecten. Hiervoor is in April 2018 een aanvraag ingediend in het OTP programma van NWO-TTW. De uitslag van deze aanvraag wordt eind december 2018 bekend gemaakt. Andere aanvragen zijn in voorbereiding.



Figuur 2: Schematische weergave van de installatie van ERT en DTS sensoren langs de beluchtingsfilters op de proefvelden.



Figuur 3: ERT electrode ontwikkeld door de TU voor langdurige plaatsing in percolaat en in situ afvalcondities. De sensor bestaat uit koolstofvezel dat waterdicht gekoppeld is aan een koperdraad.



Figuur 4: permanent ERT meetveld op de locatie Wieringermeer

4. Realisatie werkpakket WP 2: Tracers

4.1 Achtergrond

De mate van preferentiële stroming en de snelheid van uitwisseling tussen de bulk van het afvalpakket en het mobiele water kan worden bepaald met een tracer test. In eerdere projecten van de Stichting Duurzaam Storten is al ervaring opgedaan met het uitvoeren van tracer-tests. De tracer-test op de testcel in Landgraaf is één van de grootste geweest ooit gedaan in een stortlichaam. De uitvoering bleek een grote uitdaging. Een belangrijke conclusie was dat er nog veel onderzoek nodig is voordat dergelijke tracer-tests routinematig toegepast kunnen worden in reguliere projecten. Omdat gedetailleerd inzicht in het gedrag van het afvalpakket van groot belang is voor het onderbouwen van het concept zal een aantal tracer testen worden uitgevoerd op de verschillende locaties om de ruimtelijke spreiding in uitspoeling naar het drainagesysteem te bepalen. Met het reguliere monitoringsysteem wordt een gemiddeld gedrag van het stortvak bepaald door in een beperkt aantal meetpunten te meten. Met een tracertest en het bemonsteren van percolaat verspreid door het afvalpakket en de percolaat drains kan, met in-line tracer sensoren, aanvullend inzicht verkregen in de ruimtelijke spreiding van concentraties in en de mate van menging die optreedt in het drainagesysteem. De eerste tracer testen zullen samen met de Universiteit van Southampton in 2019 worden uitgevoerd.

4.2 Realisatie

De verwachting was met dit werkpakket te starten midden 2017 maar door het uitlopen van de installatie van de infrastructuur voor de pilot in Bergen op Zoom was dit pas mogelijk begin 2018. De uitvoering van dit werkpakket verliep in samenwerking met de Universiteit van Southampton (experts op het gebied van tracer experimenten). Dit is in overeenkomst met de in het voorstel genoemde openstelling van de locaties voor onze internationale partners zodat zij samen met ons onderzoek kunnen doen. De Universiteit van Southampton heeft voor ongeveer 1 Meuro aan fondsen gehonoreerd gekregen in de zomer van 2018 om uitgebreid onderzoek op basis van tracer testen te doen op de Kragge. Nu het project van Southampton doorgaat profiteren beide projecten door een gezamenlijke meetinfrastructuur te installeren met zowel onze sensoren als hun extra specifieke sensoren. Vanwege de opportune samenwerking hebben wij ons in dit project beperkt tot aanschaf en installatie van meetinfrastructuur en het doorrekenen van modelscenario's ter voorbereiding op de tracertesten welke begin 2019 zullen starten. Het definitieve ontwerp van onze gezamenlijke tracer testen is afgerond. De universiteit van Southampton heeft de hoofdverantwoordelijkheid voor het uitvoeren van de experimenten in 2019.

Ter voorbereiding van de tracertesten op de Kragge was het noodzakelijk meer inzicht te verkrijgen in de dynamiek van waterverzadiging en waterdoorstroming in het proefveld van de Kragge. Dit om de optimale locatie van tracer-injectie en tracermeetinfrastructuur (o.a. het plaatsen van extra boringen voor meetnesten) te bepalen. Een verdiept inzicht is verkregen doormiddel van het doorrekenen van scenario's gebaseerd op historische gemeten precipitatie en percolaat productie data (master thesis Loys Vermeijden) met behulp van modellen ontwikkeld tijdens het eerdere STW project. Ook hebben de timelapse ERT en DTS metingen uitgevoerd in de zomer van 2018 meegeholpen aan het ontwerp van de meetinfrastructuur voor de tracertesten.

De CTD divers aangeschaft in werkpakket geofysica zijn ook ingezet om een indruk te krijgen van de spreiding van waterdruk en elektrische geleidbaarheid in het proefveld op 'De Kragge'. Deze parameters zijn verticaal gemeten in de 12 ERT/DTS filterbuizen over een periode van een paar maanden. Drie CTD divers zijn ook horizontaal ingebracht in drainagebuis 9 die precies onder het ERT proefveld doorloopt. Met behulp van een drainagespuitsysteem is een robuust touw doorgevoerd in buis 9 met een lengte van 340 meter. Aan weerszijden van de buis is een katrolsysteem aanwezig voor het doorvoeren van het touw dat minstens 2x langer is dan de buis. In dit systeem is ook een analoge lengtemeter aanwezig zodat de exacte positie van ingevoerde elektroden gemeten kan worden. Via het touw kunnen CTD divers en ook de ERT kabel ontwikkeld in werkpakket geofysica op elke gewenste positie geplaatst worden. Tevens is het ook mogelijk om een slang mee door te voeren voor het bemonsteren van percolaat op elke gewenste positie met behulp van een slangenpomp. In drainagebuis 7 is eenzelfde touw-katrolsysteem geïnstalleerd.

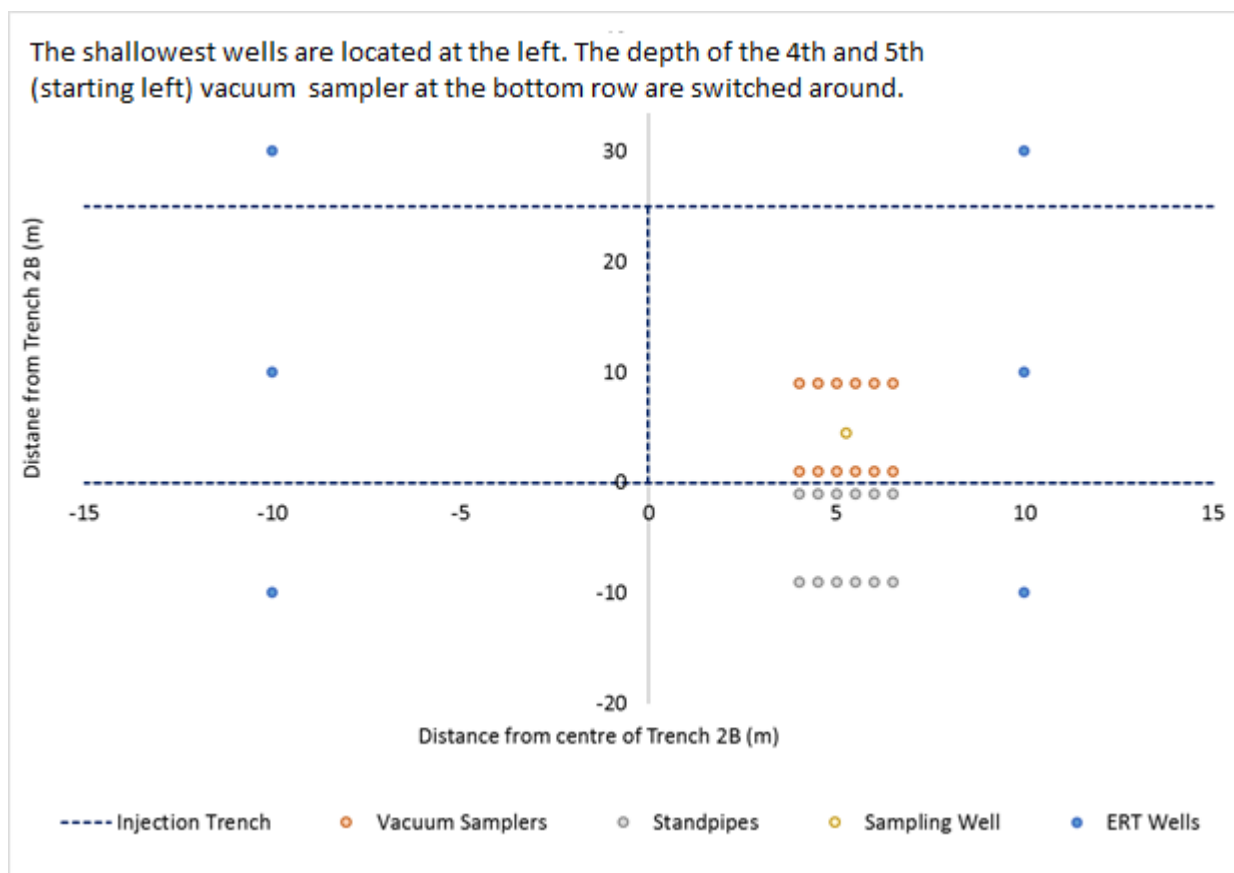
De meetinfrastructuur in drainagebuis 9 maakt het mogelijk om de horizontale spreiding van de tracers (ingebracht aan de oppervlakte) door het afvalpakket te monitoren. Monitoring vindt plaats door het meten van verandering in elektrische geleidbaarheid van het percolaat (som parameter) maar ook bemonstering van het percolaat. Dit is essentieel voor het sluiten van de massa balansen van de tracer testen en geeft veel meer informatie over het waterstromingsgedrag in het proefveld dan alleen een (gesommeerde) meting in de pompput.

Installatie van de overige meetinfrastructuur voor de tracertesten (in samenwerking met Southampton) geschiedt in drie fases:

- Fase 1: vier meestnesten worden geïnstalleerd naast het permanente ERT meetveld en percolaatinfiltatiebuis 2B. Een meetnest bestaat uit een serie van filterbuizen of onverzadigdwatersamplers ingebracht op verschillende diepte in het stortlichaam. Voor de installatie van de sensoren/filters worden extra boringen geplaatst op het proefveld. Tijdens installatie wordt ook tegelijkertijd elke 2 meter een ERT sensor wordt geplaatst. Naast de meetnesten wordt een meetcontainer geplaatst en benodigde pomp- en elektriciteitsinfrastructuur. Begin oktober 2018 zijn de meetnesten geïnstalleerd en de meetcontainer zal eind 2018 worden geplaatst. Ook wordt dan een deel van infiltatiebuis 2B geïsoleerd voor locatiespecifieke injectie van tracers doormiddel van schotten en een kleppensysteem. Een schets van de locatie van de meetnesten is weergegeven in figuur 5. Met behulp van het tracer injectiesysteem en de geplaatste meetnesten zal een eerste tracer test op het proefveld plaatsvinden begin 2019 welke een eerste indruk zal geven in het waterstromings en stoftransport gedrag van het afvalpakket.
- Fase 2: aan de hand van de resultaten uit fase 1 wordt de definitieve locatie van een schuin boorgat van 30 meter lang bepaald. In dit boorgat zullen sensoren worden geplaatst voor het meten van waterverzadiging, tracer concentraties en ERT. Doordat de sensoren schuin worden geplaatst van bovenkant tot onderkant van het stort kan het water- en stoftransport tijdens de tracertesten optimaal gemeten worden. Deze meetopstelling is nog nooit eerder gebruikt in stortplaatsonderzoek.
- Fase 3: Na de installatie van de sensoren in phase 2 zullen nog een extra viertal meetnesten geplaatst worden. Deze meetnesten zullen de meetresolutie verhogen, kunnen gebruikt worden als extra tracer injectiepunten en fungeren als verificatiemeetpunten voor modellen die gekalibreerd zijn op basis van de metingen gedaan met de andere sensoren.

Voor het meten van de tracer concentraties in de waterfase heeft de TU geavanceerde apparatuur in huis wat verder wordt aangevuld zal worden met apparatuur van de universiteit van Southampton. De distributie van onverzadigde zones op Kragge (en ook op Braambergen en Wieringermeer) zal ook gemeten worden via gastracertesten. Dit gebeurt door twee verschillende type gas te injecteren in het stortlichaam: 1) een gas dat niet oplosbaar is in water en 2) een gas met een redelijke oplosbaarheid in water. Het gemeten verschil in retentietijd van beide gassen in het afvalvolume geeft een schatting van het percentage onverzadigd water. Voor het nauwkeurig meten van gasfase tracers in stortplaatsen is een toegewijd foto-akoestisch meetapparaat aangeschaft: INNOVA 1512 met bijbehorende filters. Dit meetapparaat zal ook gebruikt worden om de mate van preferentiële gasstroming op Braambergen en Wieringermeer te meten ter ondersteuning van de beluchtingsexperimenten. Als de mate van preferentiële stroming groot blijkt zal het waarschijnlijk nodig zijn om extra beluchtingsfilters te installeren om de afstand tussen de filters te verkleinen. Tot nu toe is alleen over-extractie toegepast op de beluchtingsproefvelden maar eind 2018 zal gestart worden met parallel injecteren en onttrekken van gassen. Dan zullen ook de gastracer experimenten op Braambergen en Wieringermeer kunnen starten.

Het is de bedoeling dat de tracertesten, ontwikkeling van analysemethoden en datapublicatie worden voortgezet in hetzelfde vervolg NWO project aangevraagd ter vervolging van werkpakket geofysica. Alle verzamelde data en ontwikkelde meetprotocollen tot nu toe zijn ondergebracht in de database ontwikkeld in werkpakket 3.



Figuur 5: Bovenaanzicht van de posities van de meetnesten met filterbuizen of onverzadigdwatersamplers geplaatst op Kragge voor het werkpakket tracertesten.

5. Realisatie werkpakket WP 3: DataLab

5.1 Achtergrond

Het borgen van locatiespecifieke kennis en informatie bij lange termijn nazorg die meerdere generaties omvat is een grote uitdaging. De toekomstige generaties moeten kunnen achterhalen op basis van welke informatie en inzichten bepaalde besluiten zijn genomen. De ervaring van nu leert echter dat veel informatie alleen beschikbaar is via overlevering. Vaak is het zo dat de locatiebeheerder, die bij oplevering van het drainage systeem aanwezig is geweest, de enige is die weet dat bepaalde zaken uiteindelijk anders zijn uitgevoerd dan oorspronkelijk ontworpen. Daarom is het voor nazorgprojecten zoals uDS van groot belang om veel aandacht te hebben voor databeheer. De betrouwbaarheid en kwaliteit informatie afgeleid uit de metingen moet van zeer hoog niveau zijn, zodat alle belanghebbenden de beslissingen accepteren die worden genomen. Dit betekent dat de transparantie en reproduceerbaarheid van het traject van ruwe gegevens naar informatie goed geborgd moet zijn. Dit kan worden gerealiseerd op basis van een goed databeheer plan en een gecentraliseerd databeheer systeem waarbij ruwe gegevens, contextuele gegevens en databewerkingsprocedures in gezamenlijkheid worden opgeslagen. Diverse van dergelijke systemen bestaan al en worden tegen een relatief geringe vergoeding beschikbaar gesteld door bijvoorbeeld het 4TU Datacentrum (<http://researchdata.4tu.nl/en/conducting-research/data-lab/>).

In dit project is een DataLab opgezet waarin alle gegevens die verzameld worden tijdens de pilots (iDS) worden opgeslagen. Deze gegevens worden inclusief alle bijbehorende meta-informatie opgeslagen zodat het mogelijk wordt om de gegevens op een eenvoudige manier openbaar te maken voor derden. Alle onderzoekers binnen iDS zullen toegang hebben tot alle gegevens: metingen, rapporten en meta-informatie. Voor de opstartfase is het van groot belang om een goed overzicht te hebben van de historische gegevens van de locaties, liefst zoveel als mogelijk in de oorspronkelijke digitale formaten. Een probleem waar we mee worden geconfronteerd is dat vaak vele versies van documenten bestaan, veelal ontwerp tekeningen, maar dat revisietekeningen vaak ontbreken, of alleen beschikbaar zijn in vormen waarbij revisies handmatig zijn weergegeven.

5.2 Realisatie

Na het verkrijgen van voldoende reken- en opslagcapaciteit op een server en de datamanagementsoftware is in fasen de basisfunctionaliteit van het DataLab ontwikkeld en getest. Versie 1.0 is per november 2018 opgeleverd. De database is ontwikkeld in MySQL. De database bevindt zich op een aparte server (Chronos) alleen bestemd voor databeheer van het project Duurzaam Stortbeheer. In het folder systeem op de server bevindt zich een onderdeel waar alle ruwe data is opgeslagen en een onderdeel waar de MySQL database is opgeslagen. Verder zijn er ook mappen waarin python en jupyter scripts zijn ondergebracht ten behoeve van de controle van de integriteit van de gegevens, het inladen en exporteren van data en het analyseren van data. Met behulp van een versiebeheersysteem (GIT) worden al deze onderdelen van de server beheerd. Verder wordt de lange termijn houdbaarheid van de database gewaarborgd door jaarlijks een snapshot van de database vast te leggen in het langetermijnarchief van 4TU.Centre.

Tijdens de beginfase van het ontwikkelen van de database is in een aantal studentenprojecten zoveel mogelijk historische informatie van de drie pilot locaties achterhaald. Veel van deze informatie was alleen gedocumenteerd op papier of in oude onbruikbare formaten. Deze informatie moest dus eerst omgezet worden in bestandsformaten die ingeladen konden worden in de database. Vervolgens zijn in overleg met de stortbedrijven een aantal dataexport formaten ontwikkeld voor hun ruwe data. Er is afgesproken met de stortbeheerders dat zij zelf deze ruwe databestanden elke maand updaten op de server en inladen in de database. Hiervoor een protocol ontwikkeld dat hun toegang tot een eigen map verleend op de server Chronos. In deze map kunnen zij de nieuwe ruwe data uploaden en zijn er python scripts beschikbaar voor het controleren van de kwaliteit van de data en het laden van de data in de database. De scripts om de data integriteit te controleren, genereren statistieken waarmee eenvoudig fouten kunnen worden gesignaleerd zodat de stortbeheerder deze vervolgens kan corrigeren in hun eigen database en in de DataLab.

Er is ook een protocol ontwikkeld voor externen om data te kunnen plotten, analyseren en exporteren vanuit de database. In eerste instantie is dit bedoeld voor de stortbeheerders en samenwerkende universiteiten om eenvoudig toegang tot de data te verkrijgen, data te presenteren of te rapporten. Externe partijen moeten hiervoor een gastvrijheidsverklaring aanvragen bij de TU Delft. Vervolgens kunnen zij dan via hun gastaccount data exporteren en simpele datarapportages genereren met jupyter scripts ontwikkeld tijdens dit project.

6. Realisatie werkpakket WP4: Aanvullend onderzoek op NAVOS en IBC locaties

6.1 Inleiding

Dit werkpakket betreft het doen van een verkennend onderzoek naar gegevens verzameld op een aantal NAVOS en IBC locaties in the context van de hypothese die de basis vormt voor het iDS project. Deze hypothese is generiek van aard en daardoor ook toepasbaar op andere locaties dan de iDS pilot-locaties.

Dit onderzoek is uitgevoerd en gerapporteerd door Hans Onk.

6.1.1 Achtergrond

In Nederland wordt al eeuwenlang afval gestort. Eind 19e eeuw ontstond in de grotere steden stadsreiniging, welke zorgde voor verzameling en afvoer van haardas, huisvuil en menselijke ontlasting. Organisch materiaal werd in eerste instantie vooral gecomposteerd. Alleen door de opmars van kunstmest werd compostering minder rendabel.¹ Tegelijkertijd raakte huishoudelijk afval steeds meer vervuild met niet organisch materiaal, daarom werd geleidelijk aan overgegaan tot het centraal verwerken van huisvuil. De groeiende industriële activiteiten brengt zijn eigen afval met zich mee en industrieel afval werd vaak meegestort?

Vanaf het midden van de jaren '70 groeide het besef, dat storten van afval leidt tot risico's voor bodem en grondwater. In eerste instantie werd het storten van afval in gaten onder de grondwaterspiegel afgebouwd. In 1980 werd Lekkerkerk ineens groot nieuws, nadat een nieuwbouwwijk bleek te zijn gebouwd bovenop een met chemisch afval verontreinigde grond. Vrijwel tegelijkertijd bleek ook op de stortplaats Volgermeerpolder vaten chemisch afval te zijn gestort. Gevolg van dit alles was enorm veel aandacht voor bodemverontreiniging en als gevolg hiervan werd de regelgeving verder aangescherpt (Ladder Lansink (1979)). Vanaf midden jaren '80 werd een onderafdichting gangbaar verplicht.

Om het risico van de voormalige stortplaatsen te beoordelen is in 1995 het NAVOS-onderzoek uitgevoerd, waarbij bij een groot aantal stortplaatsen grondwater is bemonsterd, geanalyseerd en getoetst aan bestaande criteria voor grondwater. De conclusies van NAVOS werden als geruststellend ervaren: concentraties van verontreinigingen rondom het afvalpakket bleken in veel gevallen lager dan verwacht door 'Natural Attenuation'. Inmiddels lijkt de situatie rondom de voormalige stortplaatsen onder controle: bij de meeste stortplaatsen is de monitoring stopgezet; een aantal stortplaatsen zijn actief gesaneerd; enkele stortplaatsen worden actief nog gemonitord. Zo nu en dan ontstaat ergens in Nederland nog onrust. Alleen die onrust wordt steevast weer weggenomen na vervolgonderzoek.

Bij de meest moderne generatie stortplaatsen, wordt de uitloging van verontreinigingen naar bodem en grondwater gezien als het belangrijkste lange-termijn probleem van stortplaatsen. Om dit risico te beheersen, dient de stortplaats te worden voorzien van een onder- en een

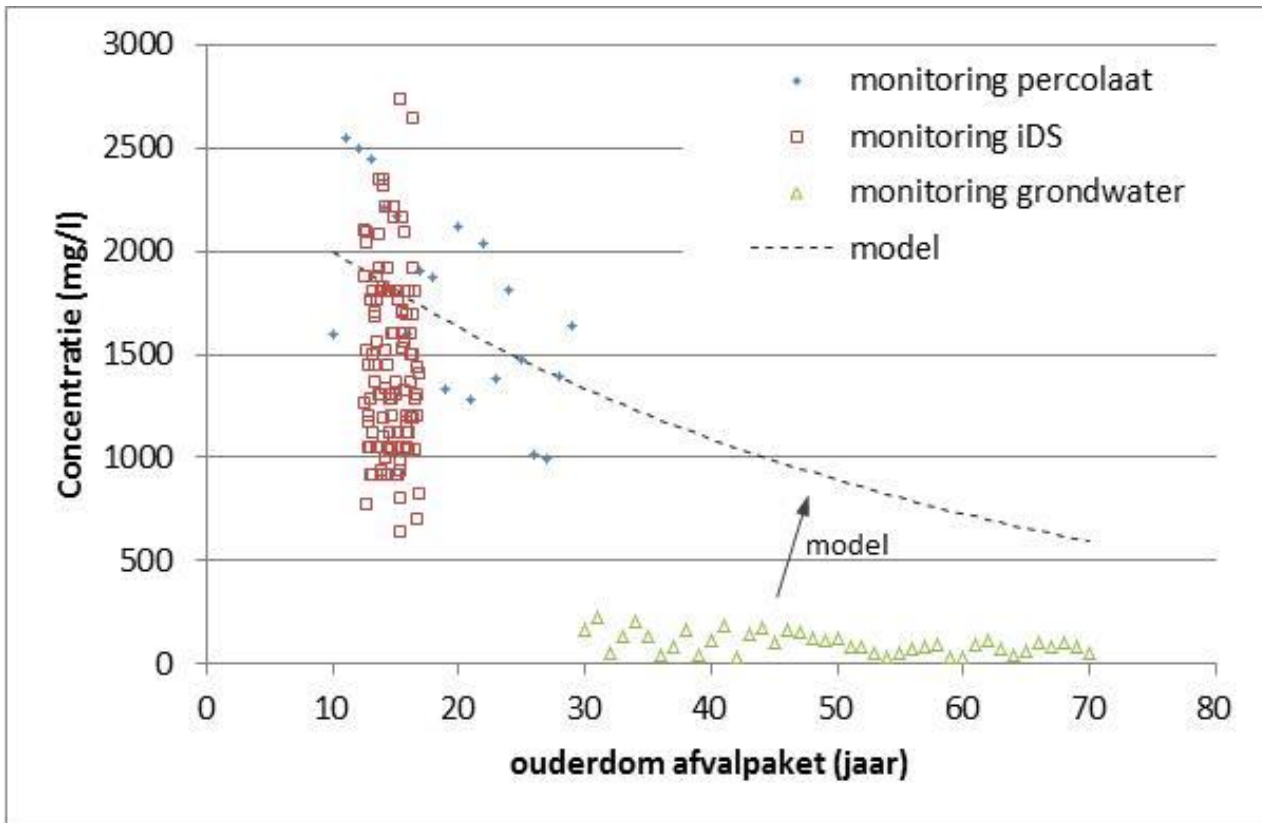
¹ Historie gebaseerd op rapport Achtergronden bij NAVOS,

bovenafdichting. Daarnaast dient een fonds te worden aangelegd, van waaruit de wering van de afdichtingen eeuwigdurend kan worden gegarandeerd.

6.1.2 Probleemstelling

De geruststellende boodschap van NAVOS lijkt in tegenspraak met de strikte regelgeving bij de meest moderne stortplaatsen. De risicobeoordeling van zowel de voormalige stortplaatsen, als de IBC-stortplaatsen op de lange termijn vraagt om goed begrip van de ontwikkeling van de bronterm: hoe ontwikkelt de uitloging uit het afvalpakket zich op de lange termijn? Voor ontwikkeling van de percolaatkwaliteit van stortplaatsen heeft TU Delft een model ontwikkeld. Van stortplaatsen is bekend, dat processen moeilijk terug te schalen zijn. Dus modellen voor percolaatkwaliteit moeten worden getoetst aan de hand van data van stortplaatsen op volle schaal en daarvoor bestaan de volgende mogelijkheden:

- Stortplaatsen met onderafdichting bestaan sinds midden jaren '80 - begin jaren '90. Bij deze stortplaatsen wordt percolaat onttrokken en gezuiverd en vanaf het midden van de jaren '90 wordt bij deze stortplaatsen de kwaliteit van het percolaat beoordeeld. Deze informatie kan worden verzameld en gebruikt voor toetsing van modellen voor percolaatvorming in de eerste 15-25 jaar na aanvang storten.
- In het kader van het project duurzaam stortbeheer is hoogfrequent (tweewekelijks) percolaatanalyses uitgevoerd bij een drietal compartimenten van stortplaatsen van ongeveer 15 jaar oud. Deze informatie is reeds beschikbaar bij TU Delft;
- Oudere stortplaatsen hebben geen onderafdichting met drainagesysteem en hier wordt geen percolaat onttrokken. Rondom deze stortplaatsen wordt echter wel grondwater bemonsterd. Trends in de grondwaterconcentraties en eventueel modellering van verspreiding van verontreinigingen uit een stortplaats, zeggen mogelijk wel iets over de ontwikkeling van de uitloging uit het afvalpakket. Oude stortplaatsen, waarbij grondwater wordt gemonitord waren operationeel vanaf de jaren '20 in de vorige eeuw, dus in principe zouden we bij voormalige stortplaatsen 100 jaar terug kunnen kijken in de tijd zoals geïllustreerd in figuur 6.



Figuur 6: Validatie van modellen voor percolaatvorming/uitloging uit stortplaatsen. Percolaatvorming in de eerste 15-25 kan worden gevalideerd aan de hand van gegevens over percolaatsamenstelling bij IBC-stortplaatsen en aan de hand van de resultaten van het project iDS. Uitloging op langere tijd zou kunnen door interpretatie van de monitoring van concentraties in het grondwater rondom de voormalige stortplaatsen.

6.1.3 Doelstelling

Doelstelling van werkpakket 4 binnen het project vtDS is:

- Het verzamelen van resultaten van monitoring van grondwater rondom voormalige stortplaatsen;
- Het uitvoeren van een eerste interpretatie van de resultaten. Bij deze eerste interpretatie is vooral aandacht voor Cl- en Nkj, omdat de concentraties van deze componenten hoog zijn waardoor ze ook goed aantoonbaar zijn in het grondwater. Bovendien wordt de uitloging van deze componenten minder verstoord door vorming/afbraak of adsorptie/desorptie, vergeleken met veel zware metalen of organische micro's. Daarmee is de uitloging van deze componenten relatief goed te begrijpen.
- De eerste interpretatie van resultaten levert informatie, welke aanvullende informatie relevant is om de uitloging van een stortplaats te begrijpen. Deze aanvullende informatie wordt zo goed mogelijk in kaart gebracht.

6.1.4 Uitvoering

Voor het verzamelen van gegevens, zijn verschillende actoren benaderd voor informatie:

- Alle provincies
- De omgevingsdiensten (voor de provincies die aangaven dat informatie vooral bij de omgevingsdiensten aanwezig was)
- Individuele gemeentes, waarvan bekend was dat gegevens beschikbaar zijn
- Adviesbureaus en uitvoeringsorganisaties

In totaal zijn gegevens over grondwaterbemonstering verzameld van 60 voormalige stortplaatsen en percolaatgegevens van 10 NAVOS-stortplaatsen. In het laatste geval zijn bij 3 stortplaatsen detailgegevens verkregen van percolaatconcentratie per compartiment. Twee organisaties zijn momenteel bezig om beschikbare informatie te digitaliseren. Deze informatie wordt in 2019 nageleverd. Dat levert naar schatting nog informatie op van grondwatermonitoring rondom enkele tientallen voormalige stortplaatsen.

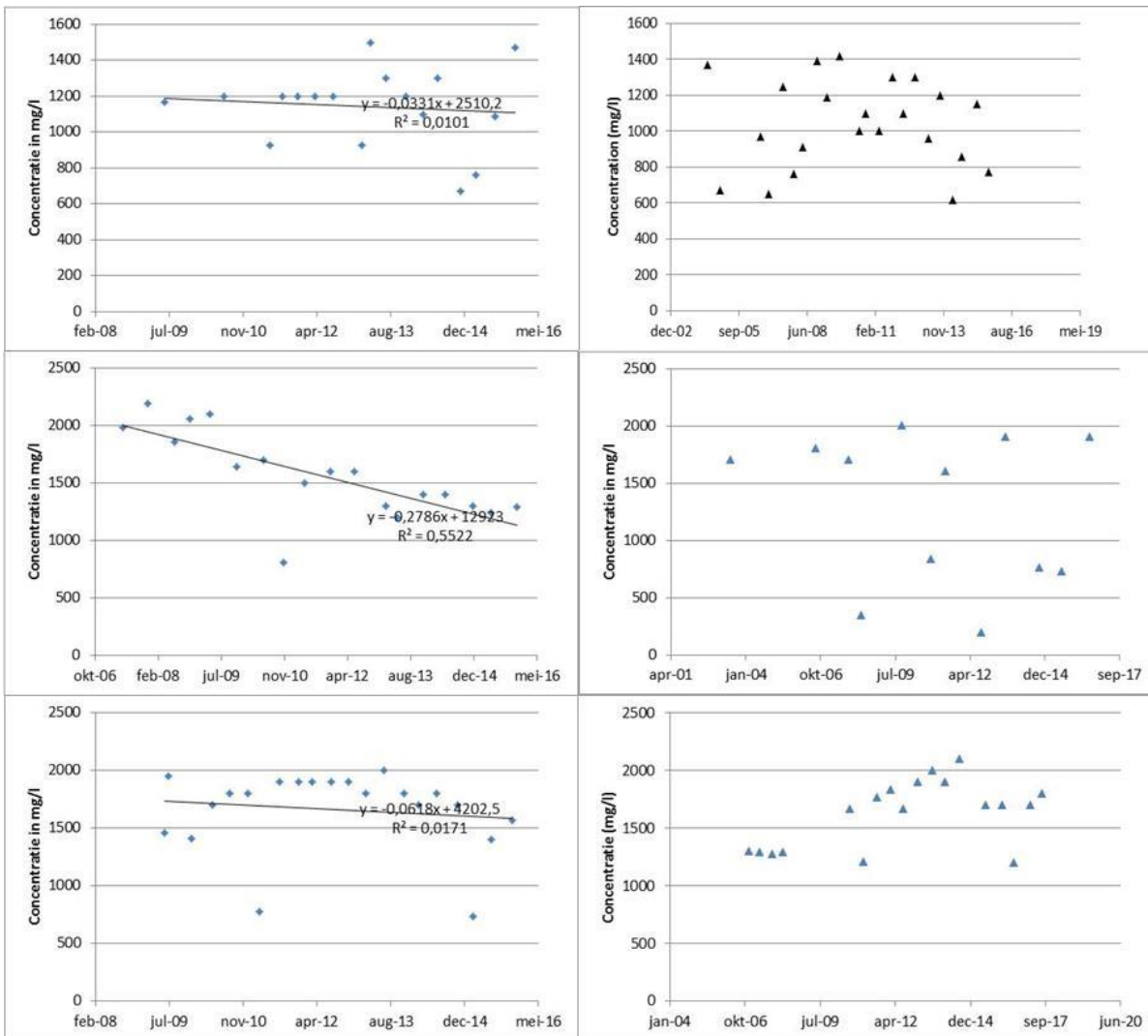
Bij een eerste analyse van de verkregen data bleek, dat aanvullende informatie nodig was om de resultaten te interpreteren en begrijpen. Deze aanvullende informatie betreft bijvoorbeeld het soort afval, dat gestort is; de ouderdom van het afvalpakket en geometrie van de stortplaats; de lokale bodemopbouw en hydrologie. Deze aanvullende informatie is vervolgens zo veel mogelijk verzameld. Alle verkregen data zijn verwerkt in een database voor wat betreft de macrocomponenten (Nkj, ammonium, Cl). Deze database is het belangrijkste product van dit project.

6.2 Discussie

6.2.1 Percolaatgegevens stortplaatsen (chloride)

Van alle componenten in het percolaat is Cl⁻ het makkelijkst te begrijpen. Bij de heersende concentraties is Cl⁻ volledig in oplossing. Cl⁻ adsorbeert niet aan de organische matrix, wordt niet gevormd noch afgebroken door biochemische reacties. De concentratie van Cl⁻ in het percolaat wordt alleen bepaald door de concentratie in het afval en uitspoeling. Als gevolg hiervan mag een gestage afname van Cl⁻-concentraties worden verwacht.

Figuur 7 geeft voorbeelden van de ontwikkeling van Cl⁻-concentraties in het percolaat van een aantal stortplaatsen. Voor een deel van de stortplaatsen (links in de figuur) wordt daadwerkelijk zo'n gestage afname van Cl⁻-concentraties waargenomen met een afnamesnelheid, variërend tussen 5 en 30 % per decade. Bij een aantal andere locaties (rechts) zijn de concentraties in het percolaat veel variabel en kan in een periode van 10-15 jaar geen duidelijke trend in concentraties worden waargenomen. In een enkel geval (rechtsonder) lijken concentraties zelfs toe te nemen in de tijd.



Figuur 7: Ontwikkeling van Cl-concentraties in het percolaat bij 6 verschillende stortplaatsen. Links drie voorbeelden van stortplaatsen met gestaag dalende concentraties. Rechts drie voorbeelden, waar de ontwikkeling in Cl-concentraties aanzienlijk complexer lijkt.

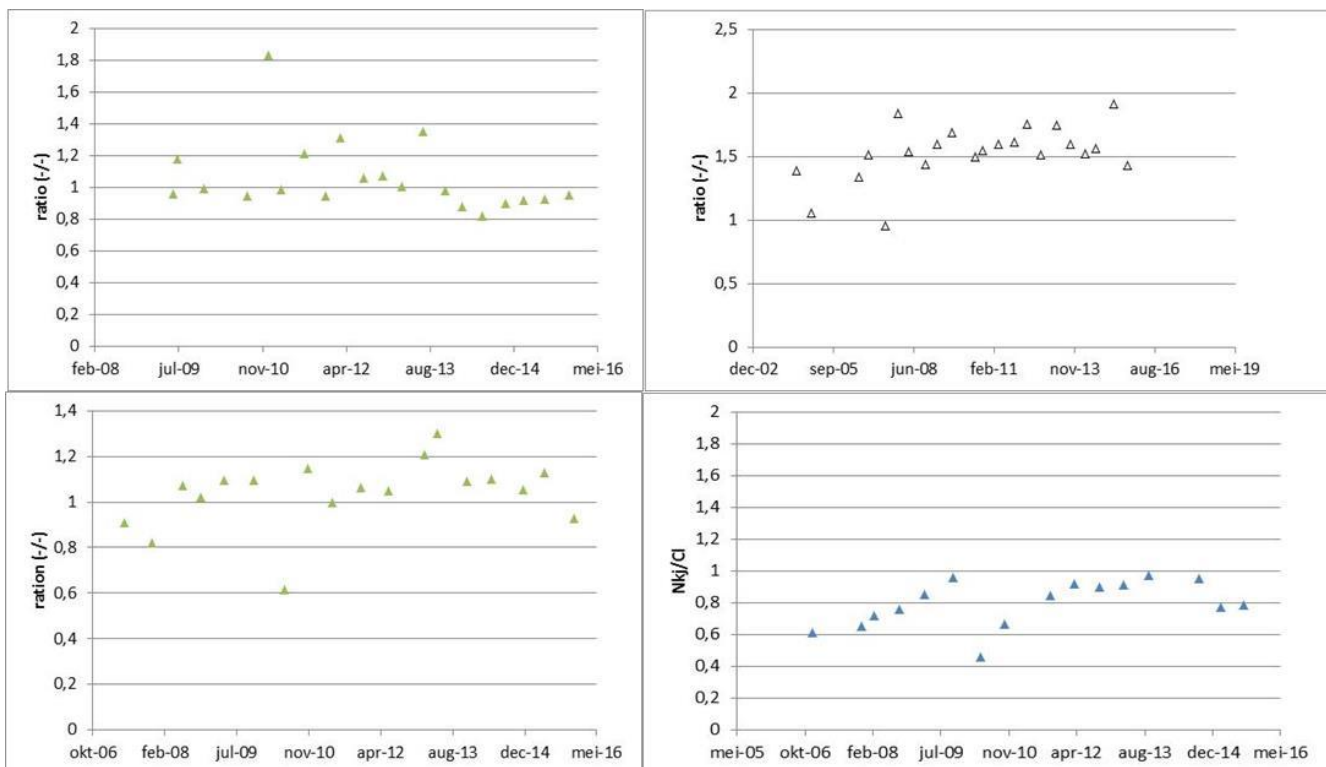
Figuur 7 maakt duidelijk, dat chlorideconcentraties op de langere tijd niet altijd kunnen worden voorspeld op basis van alleen maar een beginconcentratie en de ouderdom van het afvalpakket. De doorspoeling van het afvalpakket vindt plaats via voorkeurskanalen en de snelheid waarmee concentraties afnemen hangt waarschijnlijk af van het deel van het afvalpakket, dat daadwerkelijk bereikt wordt door de neerslag. Eerder is al aangetoond dat concentraties in het percolaat kunnen afnemen in perioden met veel neerslag. Het soort afval, de stortplaatsgeometrie, de kwaliteit van de afdekking en de manier waarop het percolaat wordt onttrokken kunnen allemaal effect hebben op de ontwikkeling van de percolaatconcentraties.

Echter het is ook mogelijk, dat de concentraties voor een deel worden bepaald door stochastische processen (bijvoorbeeld een voorkeurskanaal, dat soms links- en andere keren rechtsaf slaat) en dat er flink wat ruis zit op de ontwikkeling van concentraties in het percolaat in de tijd.

6.2.2 Percolaatgegevens stortplaatsen (Nkj)

Nkj in het percolaat wordt gevormd bij biologische afbraak van organisch materiaal en vervolgens de ammonificatie van aminozuren. Nkj wordt vervolgens ook weer opgenomen in de biologisch actieve biomassa, wordt deels vastgelegd in stabiel organisch materiaal (humic substances), adsorbeert aan vast materiaal (bijvoorbeeld kleideeltjes) en kan daaruit ook weer desorberen, zodra concentraties dalen. Als gevolg van biologische afbraak en desorptie, kan een nalevering van Nkj worden verwacht en wanneer deze nalevering substantieel is, zullen Nkj concentraties minder snel dalen als de Cl⁻ concentraties.

Om die reden is de ontwikkeling van de verhouding van Nkj en Cl⁻ in het percolaat van belang. Figuur 8 geeft een aantal voorbeelden van de ontwikkeling van deze verhouding in het percolaat van stortplaatsen. De vier grafieken corresponderen met de bovenste 4 grafieken in figuur 7.



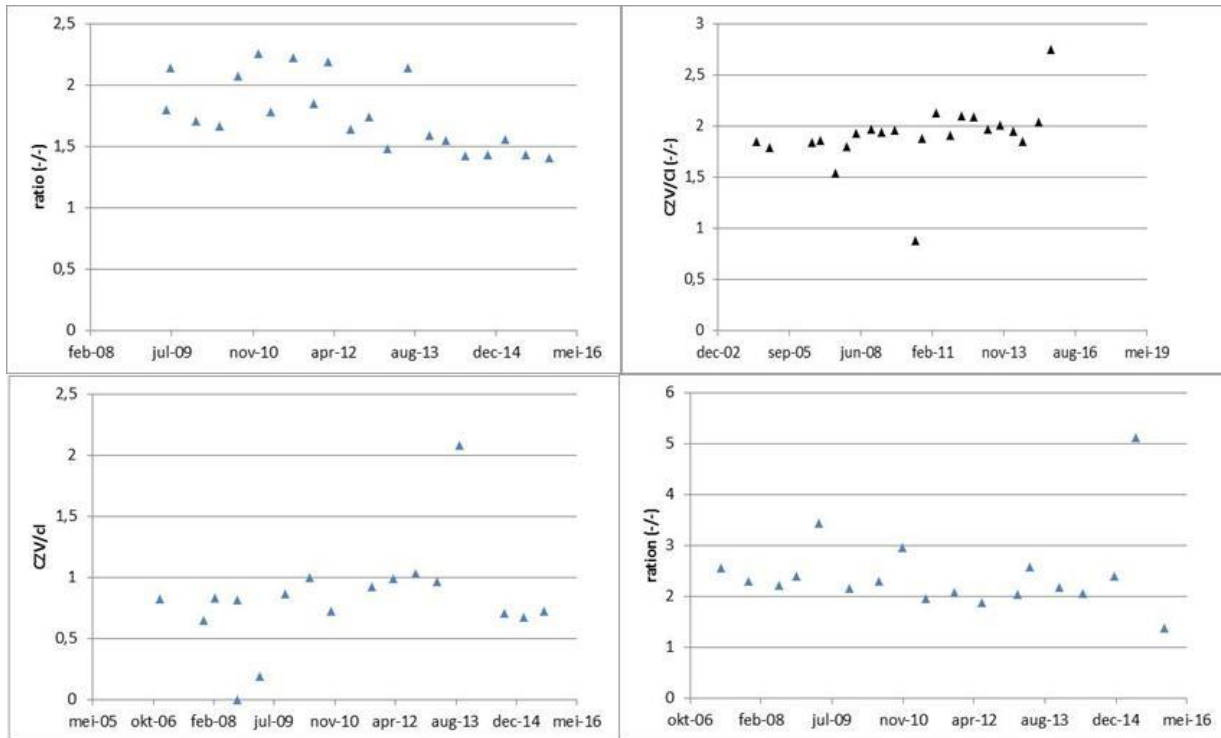
Figuur 8: Ontwikkeling van de verhouding Nkj/Cl⁻ in het percolaat van enkele stortplaatsen. De vier grafieken corresponderen met de bovenste 4 grafieken in figuur 7.

Twee dingen vallen op in figuur 8:

- in 3 van de 4 gevallen lijkt de verhouding Nkj/Cl⁻ constant te blijven. Dus gedurende de tijdsduur van analyses en bij de heersende concentraties, gedraagt Nkj zich als Cl⁻ en is geen sprake van substantiële nalevering. Vooral in de figuur linksonder is dat frappant, omdat hier zowel de Cl⁻ als de Nkj-concentraties belangrijk zijn gedaald. Rechtsboven lijkt de verhouding Nkj/Cl⁻ wel toe te nemen.
- In de twee grafieken rechts in de figuur is er aanzienlijke variatie in concentraties. De variatie in de verhouding aan concentraties is echter beperkt. Dat duidt erop, dat de concentraties van zowel Nkj als van Cl⁻ voor een belangrijk deel worden bepaald door hetzelfde proces en verdunning met regenwater ligt dan voor de hand.

6.2.3 Percolaatgegevens stortplaatsen (overige componenten)

De verkregen percolaatdata bevatten verder gegeven over CZV, zware metalen en organische micro's, maar ook bijvoorbeeld pH en Ec. Binnen dit project is al deze informatie nog niet op gestructureerde manier nader bekeken, maar er ligt wel degelijk een goede basis voor nadere evaluatie van relevante componenten.

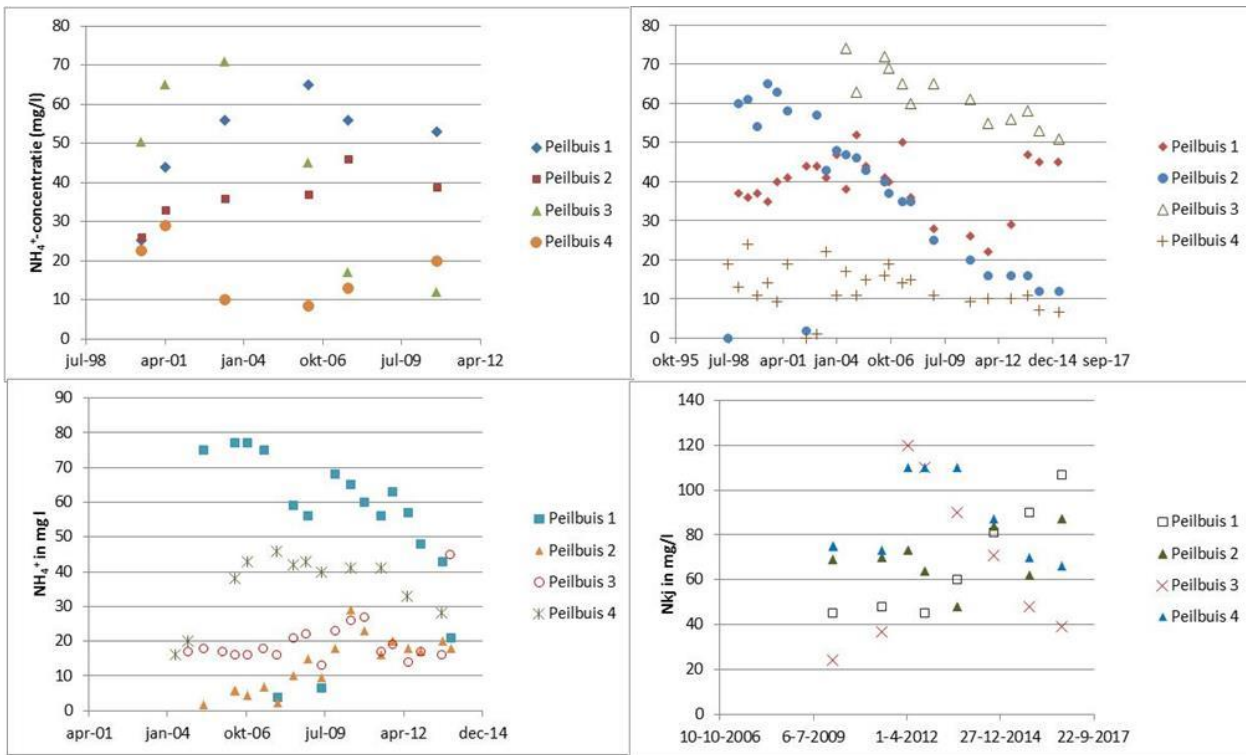


Figuur 9: Ontwikkeling van de verhouding CZV/Cl- in het percolaat van enkele stortplaatsen. De vier grafieken corresponderen met de 4 grafieken in figuur 8 en de bovenste 4 grafieken in figuur 7.

Voor veel componenten is de concentratie aan CZV is een belangrijke indicator, omdat veel metalen en organische micro's worden gemobiliseerd door CZV in oplossing. Concentraties aan CZV worden bepaald door vorming uit vast organisch materiaal, maar CZV kan op haar beurt ook weer afbreken of precipiteren. Een eerste analyse van de verhouding CZV/Cl- leert echter, dat binnen een decade geen grote verschuivingen optreden.

6.2.4 Concentraties rondom voormalige stortplaatsen (trends in gemeten concentraties)

Het oorspronkelijke idee achter het verzamelen en interpreteren van concentraties in het grondwater, was dat trends in deze concentraties iets zeggen over de trends in het vrijkomen van emissies uit het afvalpakket. Bij het verzamelen van analysegegevens in het grondwater ging de aandacht in eerste instantie uit naar tijdreeksen aan analyse in peilbuizen en waar bijvoorbeeld een halfwaardetijd aan concentraties kan worden geschat. Bij de verzameling van gegevens zijn inderdaad dit soort peilbuizen gevonden. Alleen is het beeld niet consistent (zie ook figuur 10). Soms wordt een consistente en drastische reductie in concentraties gemeten (bijvoorbeeld peilbuis 2, rechtsboven; peilbuis 1, linksonder). Maar in minstens evenveel gevallen blijken de concentraties sterk te fluctueren in de tijd of zelfs consistent en significant toe te nemen (peilbuis 2, linksonder; peilbuis 1, rechtsonder).



Figuur 10: Voorbeelden van verloop van concentraties aan Nkj in het grondwater in geselecteerde peilbuizen bij een aantal voormalige stortplaatsen.

Wat verder erg opvalt, is dat de gemeten concentraties in het grondwater erg laag zijn, in vergelijking met de concentraties, die worden aangetroffen in het percolaat van stortplaatsen (zie figuur 8). Percolaat van stortplaatsen met huishoudelijk afval bevat inde regel in de orde grootte van 1500-3000 mg/l aan Nkj en Cl⁻. In het grondwater rondom voormalige stortplaatsen zijn concentraties vrijwel altijd een factor 100 lager.

In het project iDS worden op drie stortplaatsen aanvullende maatregelen getroffen om het emissiepotentieel aan verontreinigingen drastisch te reduceren. Hiervoor wordt het afvalpakket belucht, of extra doorspoelt, met als doel om o.a. het Nkj-potentieel in het afvalpakket zodanig te reduceren, dat wanneer het resterend percolaat naar de bodem vrij zou komen, concentraties in het grondwater op de grens van het afvalpakket kleiner zijn dan 50 mg/l. Bij evaluatie van de grondwateranalyses rondom voormalige stortplaatsen, blijkt deze 50 mg/l vrijwel overal al spontaan te worden bereikt. Mogelijke verklaringen voor waarom dit zo is zijn:

- het oude afval bevat een veel lager potentieel aan Nkj. Dit is echter onwaarschijnlijk. De meeste voormalige stortplaatsen waren lokale stortplaatsen, waar al het stedelijk afval werd verzameld, dus ook het huishoudelijk afval. Er was in de regel geen acceptatiebeleid, waardoor alleen bouw- en sloopafval werd geaccepteerd en huishoudelijk afval niet. Huisvuil in de jaren 50-80 bevatte keukenafval. RIVM heeft in de jaren 70 al sorteeranlyses uitgevoerd, die die bevestigen dat huishoudelijk afval voor een belangrijk deel uit keukenafval bestaat en daarmee een bron is voor Cl⁻ en N;
- het zit er wel in, maar het komt niet vrij. Ook dit is onwaarschijnlijk. Cl⁻ is uitermate mobiel en wordt niet geadsorbeerd aan het vaste afval. Ook van afval, gestort in de jaren 70 en 80 is bekend, dat het afbreekt. De aandacht voor vorming van biogas uit stortplaatsen ontstond bijvoorbeeld eind jaren '70 en bijvoorbeeld het stortgasvormingsmodel van Hoeks en

Oosthoek dateert uit 1983. Met afbraak van organisch materiaal, ontstaat Nkj in het percolaat.

- het zat er wel in, maar het is allang uitgespoeld. Dat is mogelijk voor relatief kleine stortplaatsen, die voor een deel in het grondwater zijn gestort en waar in korte tijd een hoge L/S-verhouding wordt gerealiseerd. Voor een wat dikker afvalpakket, gestort boven maaiveld zal de uitspoeling per 10 jaar beperkt zijn en er is geen enkele reden om daar iets anders te verwachten dan wat wordt waargenomen in het percolaat van de moderne stortplaats;
- het wordt omgezet of vastgelegd door 'natural attenuation'. Voor Cl- is geen NA-mechanisme bekend. Nkj kan in klei- of veenachtige bodems worden geadsorbeerd. In zandachtige bodems is adsorptie minder waarschijnlijk. Bij opmenging met zuurstofrijk grondwater en in aanwezigheid van een geschikt substraat, zou Nkj kunnen worden genitrificeerd. Alleen bevat grondwater ook wanneer het geheel verzadigd is beperkt zuurstof (8 mg O₂ per liter) en de stoichiometrie van nitrificering is ongunstig (een mol NH₄⁺ heeft 2 molen O₂ nodig om te worden omgezet naar nitraat. De 8 mg O₂ per liter kan slechts 1,75 g NH₄⁺-N omzetten). De bijdrage van nitrificatie aan reductie van Nkj-concentraties in het grondwater blijft daarmee beperkt;
- het spoelt wel uit en wordt niet omgezet door NA. Alleen verspreiding van verontreinigingen in het grondwater vindt plaats via voorkeurskanalen, te vergelijken met de verspreiding van de rook van een sigaar. Doordat slechts enkele plekken van de mogelijke pluim wordt bemonsterd, wordt de pluim worden gemist. Er valt veel te zeggen voor deze sigarenrook-analogie, want het verklaart bijvoorbeeld waarom concentraties in een peilbuis zo variabel kunnen zijn. het verklaart ook waarom soms bij drie peilbuizen op een rij, in de middelste peilbuis geen pluim wordt gedetecteerd, terwijl de andere peilbuizen wel aanslaan. Voor een individuele stortplaats, waarbij concentraties stroomafwaarts in bijvoorbeeld drie peilbuizen wordt gemeten is de kans op een foutief-negatieve conclusie dan ook aanzienlijk. De kans dat bij 60 locaties een foutief-negatieve conclusie wordt getrokken is echter verwaarloosbaar klein. In dat geval zou minimaal op enkele locaties in een aantal peilbuizen sterk verhoogde concentraties (minimaal 10 à 20 % van de concentraties als waargenomen in het percolaat van moderne stortplaatsen) moeten worden gevonden.
- het spoelt wel uit, maar door opmenging met grondwaterstroming worden concentraties verregaand verdund. Dit lijkt de meest plausibele reden voor de lage concentraties rondom de voormalige stortplaatsen.

6.3 Conclusies

In dit deelproject zijn percolaatgegevens van moderne stortplaatsen en gegevens over samenstelling van grondwater rondom voormalige stortplaatsen verzameld. Voor wat betreft de macrocomponenten zijn de gegevens in een database gezet en aangevuld met informatie, welke relevant is voor uitloging en verspreiding van concentraties. Deze database is het hoofdproduct van deze deelactiviteit en is belangrijk voor de ontwikkeling van verder begrip en toetsing van modellen voor de lange-termijn uitloging uit vast afval.

Uit de percolaatgegevens blijkt, dat de uitloging van verontreinigingen uit afval slechts langzaam afneemt. De afname van zowel Cl-, Nkj en CZV uit het afval neemt met ongeveer 5-30% af in een

periode van 10 jaar. Van Nkj werd verwacht dat uitloging langzamer zou afnemen, als gevolg van nalevering. Van CZV werd verwacht dat door afbraak en precipitatie de uitloging sneller zou afnemen. Beide verwachtingen worden niet gestaafd door percolaatanalyses.

Voor sommige stortplaatsen nemen concentraties daadwerkelijk geleidelijk af. Op andere stortplaatsen lijkt een eventuele afname te worden overschaduwd door ruis. De concentraties Cl-, Nkj en CZV zijn vaak wel gecorreleerd, ook wanneer de ruis groot is. Dat duidt er op dat de ruis wordt veroorzaakt door één overheersend proces en dat is zeer waarschijnlijk verdunning met neerslag.

De concentraties aan Cl- en Nkj in het grondwater rondom voormalige stortplaatsen nemen niet overal consistent af te nemen in de loop van 10 jaar. Soms is een concentratie variabel. Soms wordt zelfs een lichte toename van concentraties waargenomen. Waarschijnlijk staat zo'n peilbuis dan aan de rand van een voorkeurskanaal voor verspreiding van een verontreiniging met het grondwater, waarbij de peilbuis soms meer en soms minder verdunde pluim opvangt.

In de regel zijn de concentraties rondom voormalige stortplaatsen laag. Dit is geen verrassing wat dat is al eerder geconstateerd tijdens het NAVOS-onderzoek. Alleen tijdens NAVOS werden de lage concentraties verklaard door 'natural attenuation'. Natural attenuation verklaart echter niet de lage concentraties aan Cl- en is slechts beperkt een verklaring voor lage concentraties aan Nkj. Verdunning van de pluim met het grondwater lijkt veel belangrijker, dan tot dusver aangenomen.

Aanbevelingen

Vanwege de nieuwe omgevingswet staan er dringende vragen uit bij de overheden omtrent oude stortplaatsen zoals: hoe lang duurt het beheer van oude stortplaatsen nog, wat is een verstandige investering of afbouw-scenario of wat is er nog meer mogelijk op zo'n locatie? Tijdens dit project is de gelegenheid gecreëerd om in groot detail te kunnen kijken naar de in-situ processen die plaatsvinden in (actief behandelde) stortplaatsen en is er ook veel data verzameld over grondwater en percolaat kwaliteit rondom oude stortplaatsen (NAVOS/IBC locaties). Er is dus een ideale kans voor een vervolgonderzoek waarin verder gekeken wordt naar de mogelijkheden voor nazorg en het gebruik van oude stortplaatsen. Hierin kunnen in samenwerking met adviesbureaus en gebiedsontwikkelaars nieuwe ideeën voor gefaseerde nazorg scenario's en investeringsplannen enerzijds praktisch/beleidsmatig en anderzijds wetenschappelijk/technisch uitgediept worden. Dit in nauwe samenwerking met de afvalbedrijven die momenteel veel ervaring opdoen met actieve behandeling van oude stortplaatsen ten behoeve van gefaseerde afbouw van nazorg in hun project Uitvoering Duurzaam Stortbeheer. Een vervolgonderzoek zou dus voor zowel kennisinstututen, overheden en bedrijven zeer interessant zijn.

Referenties

Ministerie van Infrastructuur. 2016. "Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur En Milieu, van 17 Mei 2016, Nr. IENM/BSK-2016/93326, Tot Wijziging de Uitvoeringregeling Stortbesluit Bodembescherming." <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2016-23631.pdf>.

Konstantaki, L.A. (2016). Imaging and Characterization of Heterogeneous Landfills Using Geophysical Methods. doi:10.4233/uuid:f1034020-f996-458e-a614-85735dd03bf9. <http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid:f1034020-f996-458e-a614-85735dd03bf9/>.

Konstantaki, Laura Amalia, Deyan Draganov, Timo Heimovaara, and Ranajit Ghose. 2013. "Imaging Scatterers in Landfills Using Seismic Interferometry." GEOPHYSICS 78 (6). Society of Exploration Geophysicists: EN107–16. doi:10.1190/geo2013-0099.1. <http://library.seg.org/doi/abs/10.1190/geo2013-0099.1>.

Konstantaki, Laura Amalia, Ranajit Ghose, Deyan Draganov, Giovanni Diaferia, and Timo Heimovaara. 2014. "Characterization of a Heterogeneous Landfill Using Seismic and Electrical Resistivity Data." Geophysics 80(1). Society of Exploration Geophysicists: EN13–25. doi:10.1190/GEO2014-0263.1. <http://library.seg.org/doi/full/10.1190/geo2014-0263.1>.

Korteland, S. 2013. "Quantitative Characterization of Solute Transport Processes in the Laboratory Using Electrical Resistivity Tomography." Delft University of Technology. doi:10.4233/uuid:9a8b608d-a41c-49f7-95f1-0564a4af2065.

Korteland, Suze-Anne, and Timo Heimovaara. 2015. "Quantitative Inverse Modelling of a Cylindrical Object in the Laboratory Using ERT: An Error Analysis." Journal of Applied Geophysics 114 (March). Elsevier B.V.: 101–15. doi:10.1016/j.jappgeo.2014.10.026. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jappgeo.2014.10.026>.

TCB (2012). Advies Duurzaam stortbeheer, Fase 1. A077, Technische Commissie Bodem, Den Haag, <http://www.tcbodem.nl/publicaties/bodembeheer/333-a077-2012-advies-duurzaam-stortbeheer-fase-1/file>.

TCB (2013a). Advies Duurzaam stortbeheer, Fase 2 en Fase 3, A082, Technische Commissie Bodem, Den Haag, <http://www.tcbodem.nl/publicaties/bodembeheer/338-a082-2013-advies-duurzaam-stortbeheer-fase-2-en-fase-3/file>.

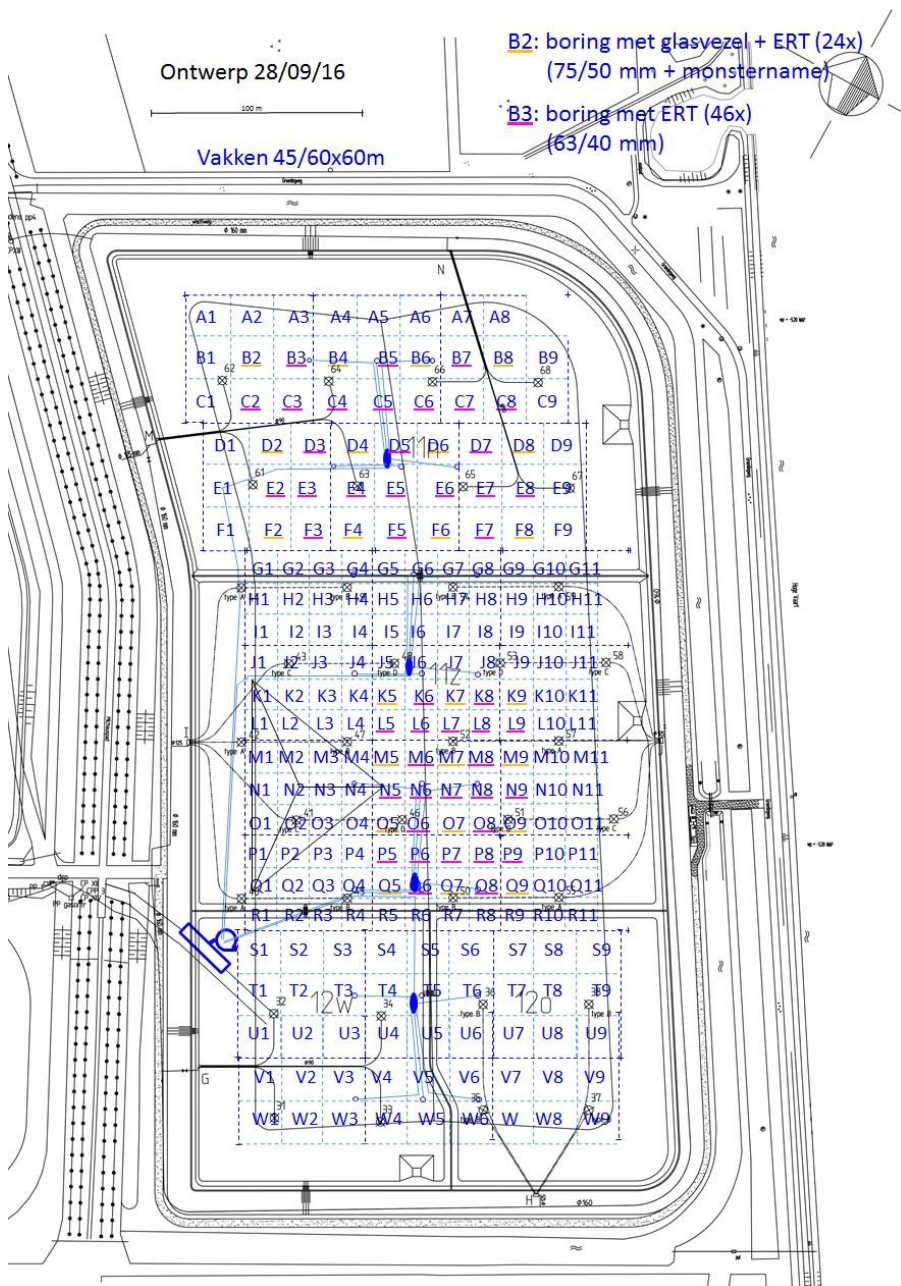
TCB (2013b). Advies Duurzaam stortbeheer, Fase 4, A087, Technische Commissie Bodem, Den Haag, <http://www.tcbodem.nl/publicaties/bodembeheer/343-a087-2013-advies-duurzaam-stortbeheer-fase-4/file>.

TCB (2013c). Advies Project IDS: maatregelen vermindering methaanemissie, Fase 5 , A090, Technische Commissie Bodem, Den Haag, <https://www.tcbodem.nl/publicaties/bodembeheer/347-a090-2013-advies-project-ids-maatregelen-vermindering-methaanemissie-fase-5/file>.

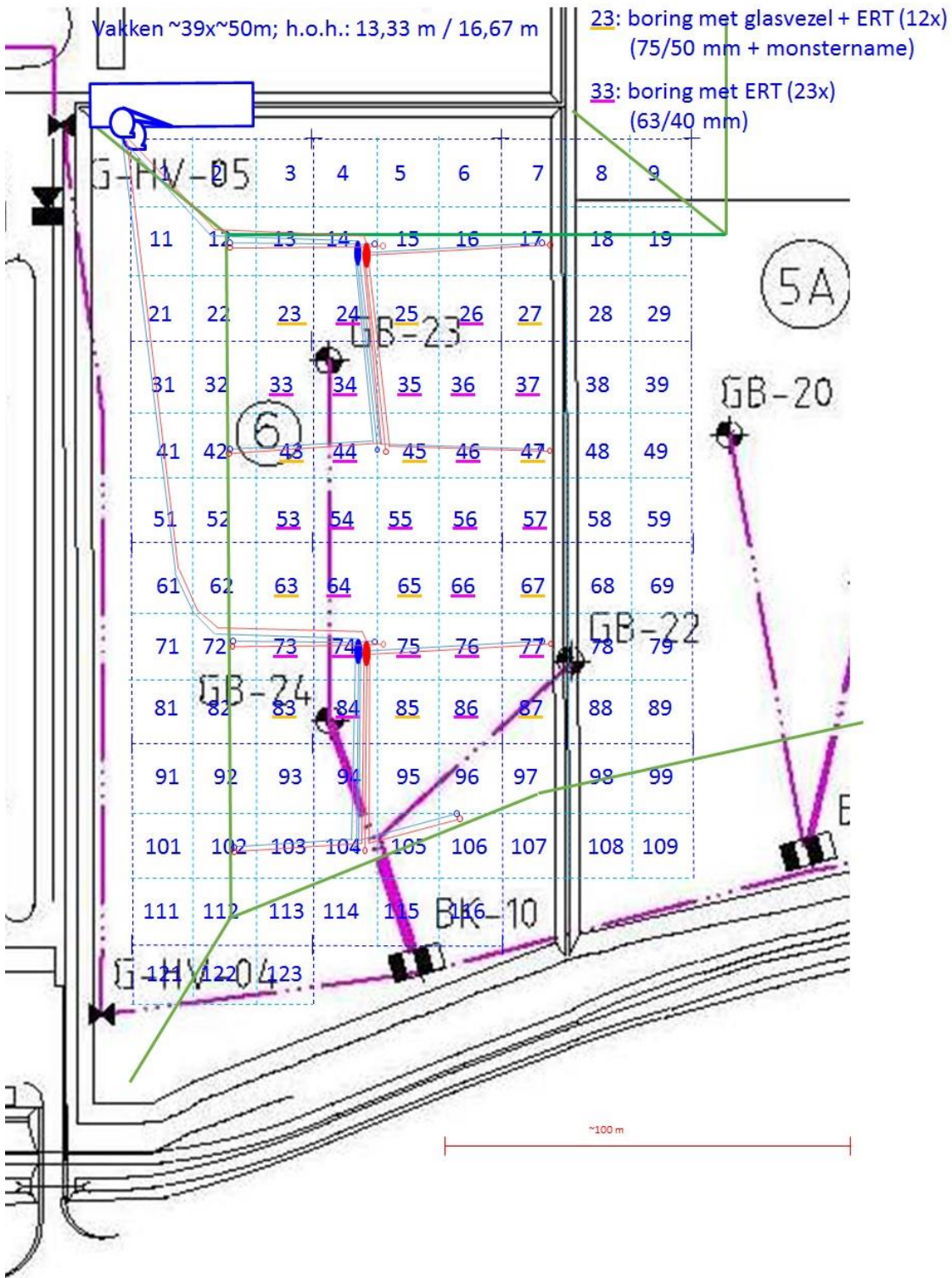
TCB. 2015. Advies Eindig Beheer Grote Voormalige Bodemsanerings- Locaties Met IBC Regime. A108. Technische Commissie Bodem, Den Haag. <http://tcbodem.nl/publicaties/bodemsanering/875-a108-2015-advies-eindig-beheer-grote-voormalige-bodemsaneringslocaties-met-ibc-regime-1/file>.

Bijlage A

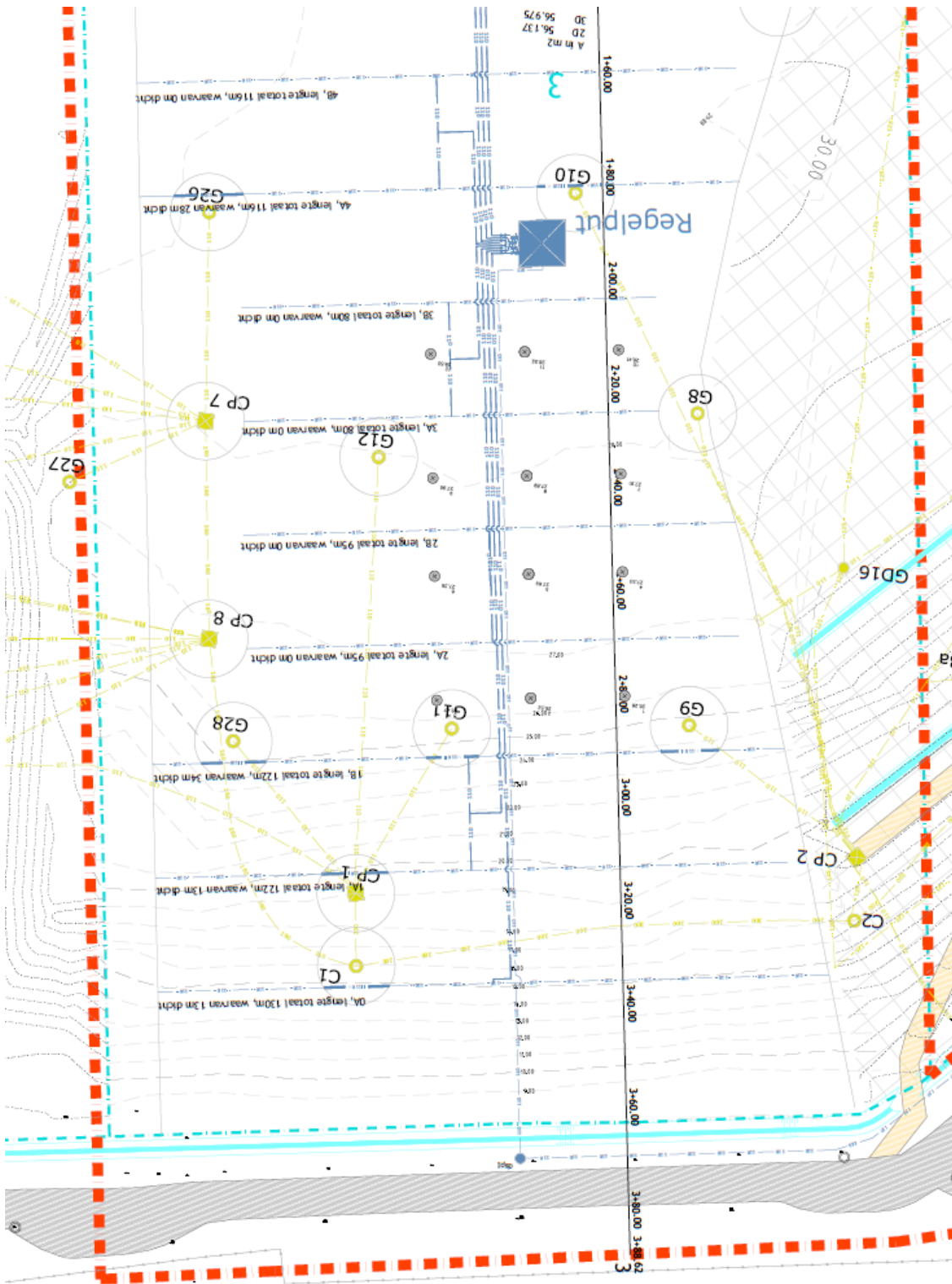
Figuur 11, 12 en 13 zijn schematische bovenaanzichten van respectievelijk de pilot locaties Braambergen, Wieringermeer en de Kragge. Figuur 14 toont een foto van een ERT connectiepunt boven een filterbuis. De kleurcodes die horen bij de dieptes van de ERT sensoren per filterbuis en locatie zijn weergegeven in tabel 2.



Figuur 11: Boven-aanzicht van de posities van de geplaatste filterbuizen, ERT en DTS sensoren op Braambergen.



Figuur 12: Bovenaanzicht van de posities van de geplaatste filterbuizen, ERT en DTS sensoren op Wieringermeer.



Figuur 13: Bovenaanzicht van de posities van de geplaatste filterbuizen, ERT en DTS sensoren op de Kragge. De posities van filterbuizen geplaatst voor het iDS project zijn aangegeven met gekruisde, grijze rondjes. Percolaatinfiltratiebuizen zijn aangegeven in blauw.



Figuur 14: Foto van een ERT connectiepunt op een van de proefvelden.

Tabel 2: kleurcodering voor dieptes van ERT elektrodes per proefveld. Bij de ERT elektrodes geplaatst samen met de sensoren van de universiteit van Southampton relateren de kleuren niet aan een specifieke diepte. Hier geldt dat als je voor de box staat (dus niet tegen de plank aankijkt) de dieptes van links (meest ondiep) naar rechts (diepst) lopen.

	Braambergen	Wieringermeer	Kragge
Grijs	3m	-	2m
Groen/geel (of rood)	5m	5m	4m
Bruin	7m	7m	6m
Zwart	9m	9m	8m
Geel	11m	11m	10m
Paars (of wit)	13m	13m	12m
Groen	15m	15m	14m
Blauw	-	17m	16m