

Incident Geologger op C2-deponie Rotterdam
Advies n.a.v. disfunctioneren van Geologger lekdetectiesysteem
op C2-deponie
Versie 1.1

Deze versie vervangt de eerder verschenen versie 1.0 van dit advies

**Advieskamer
Stortbesluit**



Mr C.J. Meijler, voorzitter

Ir J.F. de Boer, secretaris

Inhoud

1	Samenvatting	3
2	Algemene gegevens	5
3	Adviestraject	6
	3.1 Vaststelling vraagstelling	6
	3.2 Adviesvraag	6
	3.3 Voorbereiding advies	6
4	Conclusies en aanbevelingen.....	7
	4.1 Beoordeling gezichtspunten Progeo	7
	4.2 Antwoord op vraagstelling.....	11
	4.3 Randvoorwaarden bij toepassing advies.....	11
	4.4 Aanbevelingen ter algemeen nut.....	12
	Bijlagen	14
	Bijlage 1: Verantwoording	15
	Bijlage 2: Bronnen.....	17
	Bijlage 3: Vertaling "Stellungnahme Progeo"	19
	Bijlage 4: Beschrijving C2-deponie	27
	Bijlage 5: Rapport ENS.....	35
	Bijlage 6: Uitkomsten beoordeling van het ENS-rapport	66
	Bijlage 7: Beantwoording vragen Klankbordgroep.....	69

1 Samenvatting

Voorjaar 2012 is de C2 deponie te Rotterdam geconfronteerd met een incident van het geo-elektrisch meetsysteem "Geologger" in de bovenafdichting van de deponie. Het incident betrof het bezwijken van vier actieve sensoren van het systeem en het doorbranden van de kunststoffolie in de bovenafdichting door de falende sensoren. De provincie Zuid-Holland heeft het toenmalige ENS verzocht om een evaluatie van de faaloorzaken uit te voeren.

Het ENS heeft eind 2012 een concept-rapport opgeleverd. Nadien is dit concept-rapport van commentaar voorzien door de ENS-Klankbordgroep. Door de opheffing van ENS eind 2012, is dit commentaar niet meer verwerkt en is er geen eindrapport verschenen.

De provincie Zuid-Holland heeft de Advieskamer Stortbesluit in sept 2013 verzocht om het concept-rapport alsnog af te ronden en om te zetten in een definitief advies.

Op verzoek van de Advieskamer Stortbesluit hebben de opstellers van het conceptrapport (Deltares en DNV KEMA) het commentaar van de ENS Klankbordgroep verwerkt en op basis daarvan de definitieve rapportage aan de Advieskamer aangeboden. Deze rapportage vormt de inhoudelijke basis voor het voorliggende advies.

Uit de onderzoeken is naar voren gekomen dat het faalmechanisme als een keten van mogelijke gebeurtenissen kan worden voorgesteld:

1. Gedeeltelijke beschadiging van carbonlinten.
2. Verhoogde temperatuur over de lengte van de carbonlinten, zeker het eerste gedeelte van die lengte.
3. Thermische beschadiging van de kabelmantel van de signaalkabel¹.
4. Vervolgschade aan de signaalkabel.
5. Vervolgschade aan de folie.

Voor de door Progeo aangevoerde oorzaak voor het bezwijken van de sensoren (de 'onverwachte zettingen' die leiden tot beschadiging van de carbonlinten) zijn geen aanwijzingen gevonden. Deze oorzaak wordt dan ook niet waarschijnlijk geacht.

De meest waarschijnlijke oorzaak is het heet worden van de carbonlinten waardoor de folie en de mantel van de signaalkabel smolten op de plek waar de linten daar tegenaan lagen.

Deze ligging is het gevolg van a) uitleg van de signaalkabels direct op het folie en b) uitleg van de carbonlinten met een lus om de signaalkabel.

De hoge temperatuur van de carbonlinten, die uit koolstofvezels bestaan, is in deze verklaring het gevolg van breuk van een groot aantal van de koolstofvezels door te sterke buiging van het lint om de signaalkabel waar hij overheen lag, dit onder de druk van het opgebrachte zand en mogelijk verdichting daarvan.

Breuk van koolstofvezels betekent dat het carbonlint bij gelijkblijvende totaal stroom heet wordt over een groot deel van zijn lengte en niet alleen op de plek van de breuk. Het doorsmelten van de mantel van de signaalkabel leidde uiteindelijk tot het volledig afbreken van de signaalkabel, mede onder galvanische werking van de koperen draden in contact met vochtige grond.

Uit deze verklaring volgt dat de situatie bij de resterende en zelfs de gerepareerde koppelingen van de carbonlinten aan de signaalkabel nog altijd een risico vormen. De belangrijkste aanbeveling is dan ook om alle de kabels van het Geologger systeem op te graven en opnieuw uit te leggen, maar nu in de drainagelaag op een of meerdere

¹ Met signaalkabel wordt bedoeld: "de kabel waarop actieve elektroden zijn aangesloten"
Incident Geologger op C2-deponie Rotterdam
Advies n.a.v. disfunctioneren van Geologger lekdetectiesysteem op C2-deponie, versie 1.1
Uitgebracht door Advieskamer Stortbesluit d.d. 18 maart 2014

decimeters boven het folie.² Het leggen van kabels en linten direct op het folie is uit den boze, als nu maar al te duidelijk is gebleken.

Andere verklaringen zijn wellicht mogelijk, maar zij zijn niet overtuigend om alle verschijnselen zoals vastgesteld integraal in een logisch verband te verklaren. Helemaal uitsluiten kunnen we dit echter niet omdat de opgravingen van de defecte koppelingen in maart 2012 onvoldoende juist zijn uitgevoerd, zodat essentiële informatie ontbreekt. Er is toen geen goed zicht verkregen op de toestand waarin de signaalkabels en carbonlinten zich in situ bevonden. Er bestaat zelfs de mogelijkheid dat kabels door tijdens het opgraven zijn verschoven of beschadigd. Onder andere is een deel van de elektrodenlinten niet teruggevonden, terwijl zij er, gezien de eerder uitgevoerde metingen met Geologger, wel moeten zijn geweest.

Het is van wezenlijk belang gebleken om bij schadegevallen op onafhankelijke en gedetailleerde wijze de gegevensvergaring uit te voeren door een deskundige partij, maar zeker in het bijzijn van Progeo.

De evaluatie is enigszins beperkt is door een gebrek aan kwalitatief goede gegevens op sommige deelaspecten.

² In de tijd tussen het incident en de adviesaanvraag is het Geologgersysteem reeds opnieuw aangelegd.

2 Algemene gegevens

Gegevens aanvrager

Naam adviesvrager : Provincie Zuid-Holland
Afdeling Ruimte Wonen en Bodem
Contactpersoon : Dhr. IJ. De Haan MSc
Adres : Postbus 90602
Postcode + Woonplaats : 2509 Den Haag

Relevante data adviestraject

Eerste aanvraag : 26 juli 2012
Definitieve opdracht : September 2012
Concept-advies : 14 november 2012
Reactie klankbordgroep ENS : December 2012 / September 2013
Advies, versie 1.0 : 22 januari 2014
Advies versie 1.1 : 18 maart 2014

Op 26 juli 2012 heeft de Provincie Zuid-Holland het toenmalige Expertise Netwerk Stortbesluit (ENS) verzocht een advies uit te brengen n.a.v. een incident met het geo-elektrisch meetsysteem Geologger op de C2-deponie Rotterdam. Dit heeft medio september tot opdracht geleid.

In november 2012 heeft het ENS haar concept-advies toegezonden aan de opdrachtgever en aan de Klankbordgroep ENS.

Wegens het opheffen van het ENS per 31 december 2012 zijn de reacties van de klankbordgroep ENS niet meer ontvangen noch verwerkt. Het ENS heeft het concept-advies niet definitief kunnen maken.

Per 20 juni 2013 is de Advieskamer Stortbesluit ingesteld. Medio september 2013 is, op basis van de oude opdracht aan het ENS, de Advieskamer Stortbesluit door de Provincie Zuid-Holland verzocht om het concept-rapport af te ronden, met medeneming van de reacties van de (voormalige) Klankbordgroep ENS.

Op 22 januari 2014 is het advies versie 1.0 door de Advieskamer Stortbesluit vastgesteld.

Op basis van een tweetal reacties op versie 1.0 heeft de Advieskamer Stortbesluit besloten een aantal zaken nader te duiden en kennelijke onduidelijkheden weg te nemen.

Op 18 maart 2014 is het advies versie 1.1 door de Advieskamer Stortbesluit vastgesteld.

3 Adviestraject

3.1 Vaststelling vraagstelling

De definitieve vraagstelling van de provincie Zuid-Holland is vastgelegd in haar opdrachtbrief "opdrachtverlening van aanvraag technisch advies door ENS over falen Geologger-lekdetectiesysteem", kenmerk PZH-2012-350020371, ongedateerd". Deze brief is opgenomen als bijlage C van het rapport "Onderzoek naar de oorzaak van folieschade op de C2-deponie" zoals dat in bijlage 5 in dit advies is opgenomen.

3.2 Adviesvraag

De adviesvraag luidt als volgt:

[...] Evalueer de oorzaak van het falen van enkele sensoren van het Geologger lekdetectiesysteem op nazorglocatie C2 deponie te Rotterdam.

Op de C2 locatie zijn vier actieve sensoren van het Geologger lekdetectiesysteem bezweken en hebben hierbij gaten gebrand in de HDPE-folie van de bovenafdichting van de stortlocatie. Volgens Progeo, de leverancier van het Geologger systeem zijn onverwachte zettingen op de stortlocatie de oorzaak.

Provincie Zuid-Holland heeft twijfels bij deze verklaring en met deze opdracht wordt verzocht tot een evaluatie van de oorzaak van het falen van de sensoren van het Geologger lekdetectiesysteem.

Het beoogde onderzoek wordt uitgevoerd door ENS en zal zijn gericht op de faalmechanismen die de schade aan het lekdetectiesysteem hebben kunnen veroorzaken. [...]

Uit opdrachtbrief: "opdrachtverlening van aanvraag technisch advies door ENS over falen Geologger-lekdetectiesysteem", kenmerk PZH-2012-350020371, ongedateerd"

3.3 Voorbereiding advies

Het advies van de Advieskamer Stortbesluit is gebaseerd op het rapport "Onderzoek naar de oorzaak van folieschade op de C2-deponie; Calamiteit Geologger; ENS/ENL Rapport 2013/02" (bijlage 5). Dit rapport is door Deltares en DNV KEMA opgesteld ten behoeve van ENS (de conceptversie) en de Advieskamer Stortbesluit (de definitieve versie).

Naar aanleiding van de conceptversie van het rapport heeft de Klankbordgroep ENS een aantal vragen gesteld. Deze zijn door Deltares en DNV KEMA als volgt verwerkt:

- Een algemene beantwoording (bijlage 7)
- Verwerking op detailniveau in het definitieve rapport (bijlage 5)
- Terugkoppeling aan individuele vragenstellers (niet opgenomen in dit rapport)

Alvorens het rapport te verwerken in het advies van de Advieskamer Stortbesluit, heeft de gedelegeerde van de Advieskamer een reactie op het rapport gegeven. Gezien de bijzondere situatie rond de totstandkoming van dit rapport, is er – in overleg met Deltares en DNV KEMA – afgezien om de reactie van de gedelegeerde rechtstreeks te verwerken in het eindrapport van Deltares en DNV KEMA. De reactie van de gedelegeerde is daarom separaat opgenomen in bijlage 6.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Beoordeling gezichtspunten Progeo

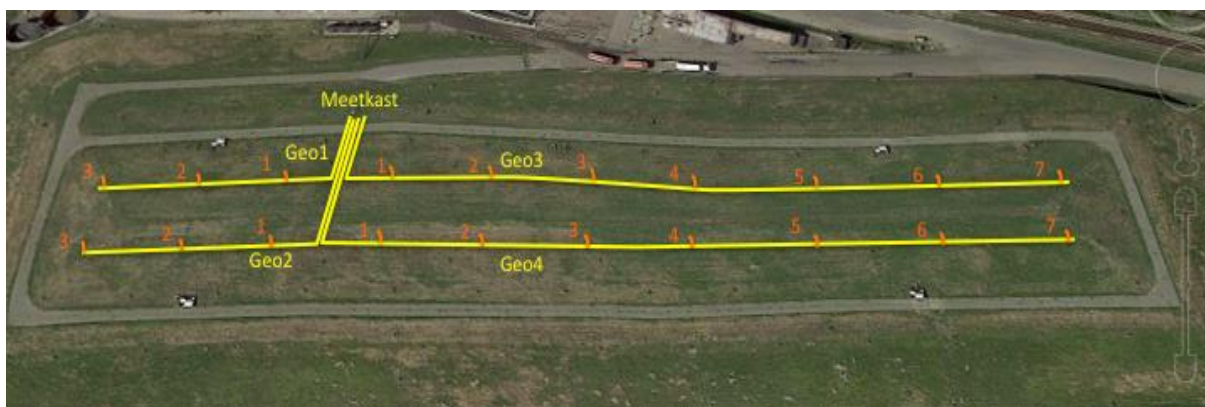
Progeo heeft in haar "Stellungnahme zum Schaden an den Gegenelektrodenabgriffen der Deponie C2" ("Onze gezichtspunten betreffende de schade aan de koppelingen van de actieve elektroden van de C2 deponie") een verklaring proberen te geven voor het falen van het Geologgersysteem. In de adviesaanvraag wordt naar deze uitgangspunten van Progeo verwezen.

In deze paragraaf wordt uitgebreid ingegaan op de verklaring van Progeo en hoe deze past in de gegeven situatie. Voor een goed begrip is in bijlage 3a een vertaling van deze "Stellungnahme" opgenomen en in bijlage 3b de oorspronkelijke tekst.

4.1.1 Geologger op de C2-deponie

Het ontwerp en de opbouw van de C2-deponie is uitgebreid beschreven in bijlage 4. Hierin zijn ook enkele figuren opgenomen over de opbouw en ontwikkeling van de C2-deponie.

De lay-out van het Geologgersysteem op de C2-deponie is in figuur 1 weergegeven.



Figuur 1: Layout van de actieve elektroden van het Geologgersysteem na de heraanleg van het systeem van Geologger in 2013. De Advieskamer Stortbesluit gaat er vanuit dat de positionering van het systeem na de heraanleg vrijwel identiek is aan die van de oorspronkelijke aanleg. De meeraderige signaalkabels zijn geel, de carbonlinten zijn oranje aangeduid. De lengte van de linten is volgens opgave van Progeo 6,5 m. (Google Earth, 2013).

Het betreft 4 kabels (Geo1 t/m Geo4) met in totaal 20 aansluitpunten, de in oranje aangegeven carbonlinten. Geo1 en Geo2 lopen in westelijke richting en hebben elk 3 aders. Geo3 en Geo4 lopen in oostelijke richting en hebben elk 7 aders.

De kabels liggen direct op het HDPE-folie. De carbonlinten zijn ter plekke omhoog aangelegd, dus loodrecht op het folie, om goed contact te maken met de aangebrachte zand- en grondlaag. Dit is weergegeven met de korte oranje lijntjes.

4.1.2 Reactie en conclusie Advieskamer Stortbesluit op Stellungnahme Progeo

Carbonlint is geleidend maar een stuk minder dan koper. Het lint bestaat uit vele, zelfs duizenden, koolstofvezels met een specifieke elektrische weerstand van rond 1.2 microOhmm (Ter vergelijking, koper met 0.017 microOhmm). De weerstand tussen meetkast en grond zit derhalve in de koolstofvezel en niet in de koperen aders van de signaalkabel. Tegelijkertijd is het specifieke elektrische geleidingsvermogen van de koolstofvezels veel groter dan die van het bodemmateriaal, zodat doorgifte van elektrische stroom naar grond goed verloopt, terwijl geen polarisatie of oxidatie kan optreden wegens het gebruik van koolstof. Door gebruik van het inerte koolstof wordt bovendien een zeer lange levensduur gegarandeerd (TNO (2000): 100 jaar, vereiste

levensduur 75 jaar, MNO-Vervat (2010)).

Koolstof heeft in de regel een elektrisch geleidingsvermogen dat afhangt van de richting. Voor een gelijkmatige afgifte van de stroom over de lengte van de waarschijnlijk 6 m lange linten, is het nodig dat het elektrisch geleidingsvermogen in de lengterichting van de vezels veel groter is dan loodrecht daarop. Dit kan zo nodig met coatings worden bewerkstelligd. Dit geldt ook voor de techniek om de carbonlinten met de signaalkabels te verbinden op een even duurzame manier.

Een carbonlint scheurt niet af. De brosse vezels zullen echter breken bij te scherp buigen en door impact. Wordt een flink deel van de vezels gebroken, dan wordt de stroom door navenant minder vezels afgevoerd. Bij gelijkblijvende stroom, maar uiteraard bij hogere voltages aangedreven door de spanningsbron van de meetkast, loopt de temperatuur in de resterende koolstofvezels op, en wel vanaf de koppeling over een groot stuk van de lengte al naar gelang de stroomsterkte die in de lengte van de vezels en het lint lineair afneemt vanaf de signaalkabel. Het is niet zo als bij koper dat de hittevorming beperkt is tot de plek van de breuk. Immers de stroom kan niet gemakkelijk met buurvezels worden uitgewisseld zoals dat in een metalen draad wel het geval is. Daarom wordt als het ware het hele lint heet, al naar gelang de totale stroomsterkte in de resterende intacte vezels.

Hittevorming treedt daarbij gemakkelijk op omdat de specifieke weerstand van de koolstofvezels, hoewel laag ten opzichte van de grond, toch veel hoger is dan die van het koper in de aanvoerende signaalkabel.

De linten zijn volgens Progeo aangebracht met een lus om de elektrodenkabel die direct op het folie ligt. Hierdoor zal ook het carbonlint over een deel van zijn lengte, namelijk een stuk van de lus, op het folie liggen. Bij verhitting van het lint kan het folie daar smelten en lek raken, zoals met het Geologgersysteem en opgraving ook daadwerkelijk is vastgesteld. Dit alles gebeurt zonder dat de maximale stroom wordt overschreden, en dus zonder dat de stroombegrenzing in de apparatuur actief wordt. De verhitting over een flink stuk van de lengte van het carbonlint na de breuk verklaart niet alleen het smelten van het folie ter plekke van de lus, maar evenzeer het doorsmelten van de mantel van de signaalkabel op de plek waar die in de lus het carbonlint kruist (zie Figuur 2).



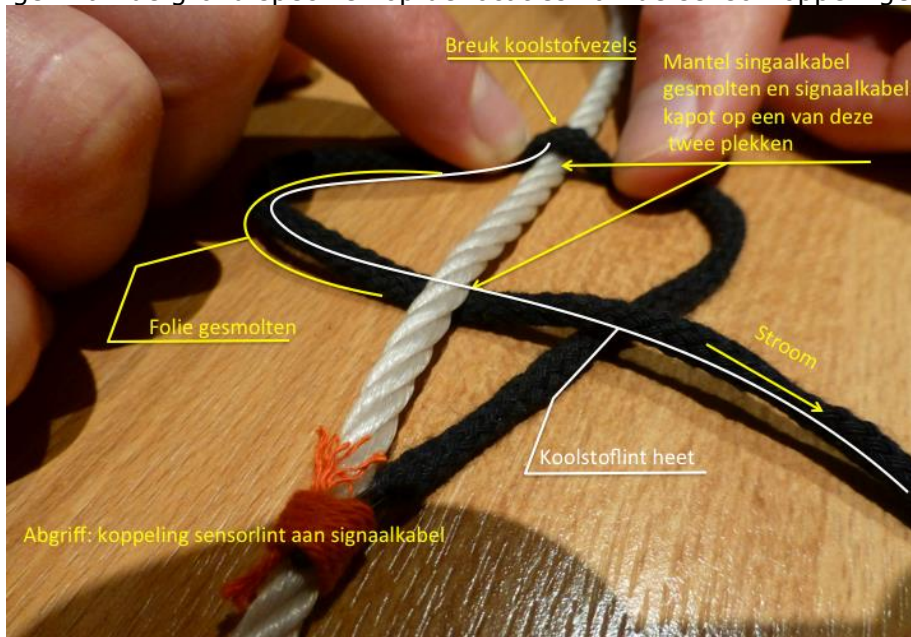
Figuur 2 links: Schematisch beeld van de signaalkabel (wit) op het folie (hier het keukenblad) met koppeling (oranje) daaraan van het carbonlint/sensor (zwart) die met een slinger om de signaalkabel naar boven (loodrecht op het folie) in de later aangebrachte grondlaag werd gevoerd (op de foto omhoog van het keukenblad).

Figuur 2 rechts: feitelijk beeld van een van de elektroden waarbij bij het incident een gat in de folie is ontstaan bij oorspronkelijke aanleg met daarin carbonlint/sensor in een lus gewikkeld om de signaalkabel (bron: Provincie Zuid-Holland).

Het deel van de carbonlinten dat omhoog is gevoerd en verder in de drainage- of leeflaag bevindt wordt eveneens heet, maar hier kan de opgewerkte warmte weinig onheil aanrichten.

De gesmolten of verbrande mantel van de signaalkabel leidt vervolgens tot vervolg schade, zoals verder de ENS is beschreven. Hieronder vallen kortsluiting tussen

de aders van de signaalkabel en afname van materiaal door galvanische werking, waardoor verdere warmteontwikkeling optrad die uiteindelijk leidde tot volledige breuk van de signaalkabel, volgens Progeo "direct achter de koppeling". Als de signaalkabel eenmaal geheel is doorgebrand, treedt geen verdere warmteontwikkeling meer op. De Geologger zal dan in staat zijn de doorgebroken kabel te detecteren zoals door Progeo in zijn Stellungnahme ook wordt gezegd. Zoals ENS verder schrijft zal het moeilijk zijn om een gedeeltelijk gebroken kabel te detecteren, terwijl juist die tot verhitting leidt. ENS concludeert terecht dat dit een nadeel is van het Geologger systeem. Dit nadeel zal dus in de praktijk moeten ondervangen door goede deskundige aanleg en het vastleggen van zettingen en verschuivingen van de grond specifiek op de locaties van de sensorkoppelingen.



Figuur 3: Schematisch beeld van de breuk door sterke buiging carbonlint over signaalkabel, waardoor koolstofvezels braken en het lint daarachter heet werd (traject witte lijn), de kabelmantel van de signaalkabel en later de hele signaalkabel doorbrak. Traject met gesmolten folie is eveneens aangegeven. Het werd uit de gegevens niet duidelijk op welk van de twee mogelijke plaatsen de mantel van de signaalkabel is doorgesmolten.

De vraag hoe vezels van het carbonlint kunnen zijn gebroken kan, hoewel niet met zekerheid, als volgt worden verklaard. Omdat het carbonlint met een lus om de signaalkabel is gelegd, zoals weergegeven in Figuur 2, ligt het carbonlint op een punt direct op en op een ander punt direct onder de signaalkabel. Het carbonlint kan door de nadien opgebrachte grond, mogelijk versterkt door de verdichting daarvan, hard op de kabel zijn gedrukt en daarbij zo scherp zijn gebogen dat een flink deel van koolstofvezels brak (dit is weergegeven in Figuur 3). Het lint met lus en de signaalkabel kunnen mogelijk ook verschuiven bij het aanbrengen van grond of door latere zettingen, waarbij de grond over het folie schuift. Bij verschuiving zou de lus kunnen vervormen en zodanig buigen dat vezels van het carbonlint breken. Een verder risico voor de buigradius kan voortkomen uit het verticaal omhoogvoeren van het carbonlint vanaf het folie, terwijl de signaalkabels op het folie liggen. Verschuiving van grond over het folie leidt dan mogelijk tot grote krachten op de aansluiting van het lint. Het essentiële punt is echter, dat carbonlint alleen breekt als de buigingsradius te klein wordt. Het scheuren van het lint of het breken op trek kan gevoelig worden uitgesloten gezien de sterkte-eigenschappen van koolstofvezels. Breken van vezels lijkt het enig plausible mechanisme, temeer daar de koppeling van lint aan ader van de signaalkabel intact bleek. Van de verschillende mogelijkheden die hierboven zijn genoemd lijkt scherpe buiging van het carbonlint over de signaalkabel door de gronddruk het meest waarschijnlijk. Dit mechanisme is in staat het volledige verloop van de vastgestelde gebeurtenissen te verklaren zonder dat daar ingewikkelde theorieën bijgesleept hoeven te worden. Er zijn ook geen zettingen voor nodig (Occam's razor)).

Een tweede mogelijkheid van breuk van koolstofvezels zou kunnen zijn het fixeren met zandzakken van de op het folie uitgelegde signaalkabels voordat de drainagelaag werd aangelegd. Indien zandzakken te ruw op de carbonlinten zijn geplaatst zouden ook vezels kunnen breken.

De reden die Progeo aangeeft, namelijk dat met name de koppeling van linten Geo1/1, Geo2/1, Geo3/1 en Geo4/1 het begaven omdat zij in drie richtingen gefixeerd zouden zijn, en daardoor hun aansluitpunten zo vast zaten op het folie dat de linten braken zodra grond verschoof, is niet waarschijnlijk in het licht van de ligging van de sensoren in Figuur 1. Hoewel geen tekening van het verloop van de signaalkabels bij het rapport van ENS zat klopt het getekende verloop en de ligging van de sensoren in deze figuur met zowel de beschrijving die Progeo heeft gemaakt als met de sporen die op de Google Earth foto in het gras op de deponie herkenbaar zijn, en hier zijn geïnterpreteerd als het tracé van de kabels. Als het verloop van de kabels en de ligging van de sensoren/linten in Figuur 1 juist is, dan is er geen sprake van de door Progeo naar voren gebrachte fixatie in drie richtingen. Het impliceert in feite dat de overige sensoren nog altijd hetzelfde risico lopen als de eerste die inmiddels kapot gingen, waardoor het niet aan te bevelen is om deze situatie zo te laten.



*Figuur 4 links: Schematisch beeld van een goede aanleg, waarbij signaalkabel (wit) en koofstofilint (zwart) in een vlak worden aangelegd, maar wel op een of meer decimeters boven het folie.
Figuur 4 rechts: feitelijk beeld van heraanleg, met daarin het carbonlint dat zonder lus naar boven wordt gevoerd (bron: Provincie Zuid-Holland)*

4.1.3 Conclusies en aanbevelingen naar aanleiding van Stellingname Progeo

Thermische schade zoals hier geconstateerd, kan alleen optreden als het carbonlint in contact komt met het folie en de mantel van de signaalkabel. Bij aanleg dient zulk contact te allen tijde te worden voorkomen, dus nooit direct op het folie en ook geen lus van de carbonlinten om de signaalkabel. Aanleg van het Geologgersysteem met kabels direct op het folie in de C2 deponie is een ontwerpfout voor wat betreft de aanleg van het Geologgersysteem. Dit is de belangrijkste conclusie uit deze gebeurtenis.

De Advieskamer beveelt daarom sterk aan het Geologgersysteem op te graven en opnieuw aan te brengen, maar nu in de drainage of de leeflaag op een of meer decimeters boven het folie een vlak dat daaraan evenwijdig is.

De linten dienen op enige afstand van de signaalkabels, bijv. 10 cm, te worden gelegd en op dezelfde hoogte boven het folie, bijvoorbeeld zoals is aangegeven in Figuur 4.

De Advieskamer realiseert zich dat dit drastische maatregelen zijn, maar acht ze nodig om te kunnen garanderen dat vergelijkbare problemen als nu zijn opgetreden zich in de toekomst zich zullen herhalen. Bij het laten voortbestaan van de huidige situatie acht zij dit risico heel groot.

Noot: De Advieskamer Stortbesluit heeft haar advies over de oorzaak van het incident op de C2-deponie gebaseerd op de situatie op de C2-deponie ten tijde van het incident en heeft daarbij buiten beschouwing gelaten dat het systeem daarna reeds opnieuw is aangelegd, waarmee het benoemde risico inmiddels is opgeheven.

4.2 Conclusies

Op basis van de verzamelde informatie en verstrekte gegevens wordt het faalmechanisme als een keten van mogelijke gebeurtenissen voorgesteld:

1. Gedeeltelijke beschadiging van carbonlinten.
2. Verhoogde temperatuur over de lengte van de carbonlinten, zeker het eerste gedeelte van die lengte.
3. Thermische beschadiging van de kabelmantel van de signaalkabel.
4. Vervolgschade aan de signaalkabel.
5. Vervolgschade aan de folie.

Op basis van de beschikbare gegevens en foto's is er geen aanwijzing voor extreme zettingen of extreme zettingsverschillen over korte afstand. Deze door Progeo aangevoerde oorzaak voor het bezwijken van de sensoren (de 'onverwachte zettingen') wordt dan ook niet waarschijnlijk geacht dan mogelijke andere oorzaken uit het aanlegproces en of de gebruikperiode.

Als mogelijke andere (meer waarschijnlijke) oorzaken worden genoemd de ongebruikelijke verticale positie van (het begindeel van) de carbonlinten (normaal zijn deze gelegen in het vlak van de bovenafdichting), en misschien ook vanwege de ligging van de kabels en sensoren direct op het folie. Hierdoor lijkt het mogelijk dat de krachten op de carbonlinten door het aanlegproces en of tijdens de gebruikperiode groter zijn dan normaal, waardoor de gedeeltelijke beschadiging van carbonlinten kan zijn ontstaan. Zeker is het allerm minst omdat de betreffende carbonlinten niet zijn terug gevonden. Ook kan beschadiging van carbonlinten voor of bij aanleg niet uitgesloten worden, waarbij beschadiging tijdens het aanbrengen van de afdeklagen en de verdichting daarvan als meest waarschijnlijk wordt beschouwd, in het licht van de beperkte informatie over de aangetroffen situatie.

Op basis van de voornoemde oorzaak concludeert de Advieskamer Stortbesluit dat ook andere sensoren en koppelingen in de C2 deponie hetzelfde risico lopen als de koppelingen die bij dit incident betrokken waren.

De evaluatie wordt beperkt door een gebrek aan kwalitatief goede gegevens op sommige essentiële onderdelen (zie par 4.3).

4.3 Randvoorwaarden en kanttekeningen bij toepassing advies

Er zijn geen randvoorwaarden verbonden aan de toepassing van het advies.

Wel wordt het volgende opgemerkt over gegevens die ten behoeve van het advies zijn ontvangen, geëvalueerd en al dan niet verwerkt.

De zeggingskracht van het advies wordt door de beperkte beschikbaarheid van de gegevens beperkt tot hypothesen. In dit specifieke geval spelen onderstaande factoren een rol:

- Er zijn *zeer weinig gegevens* over bepaalde essentiële aspecten beschikbaar, ondanks een grote absolute hoeveelheid gegevens. Het betreft o.a. voldoende en duidelijke foto's van de schade, ingezet materieel bij aanleg en verdichting van de steunlaag en drainagelaag en een technische beschrijving van het Geologgersysteem
- De duidelijkste beschrijving en analyse van de schade door Progeo (de fabrikant) opgesteld, en niet door of samen met een onafhankelijke partij.
- Sommige gegevens zijn *onduidelijk of tegenstrijdig*. Een voorbeeld is de positie van de carbonlinten, waarover drie verschillende bronnen een verschillend verhaal geven. Los van onduidelijkheid over de betreffende gegevens rijst hierdoor ook de vraag wat de kwaliteit van andere gegevens is.

Voor een verdere toelichting hierop wordt verwezen naar par. 2.3 van bijlage 5.

4.4 Aanbevelingen ter algemeen nut

Naar aanleiding van dit advies, doet de Advieskamer Stortbesluit de volgende aanbevelingen aan de leverancier van Geologger, stortplaatsbeheerders, nazorgorganisaties en bevoegde gezagen.

(1)

De evaluatie wordt beperkt door een gebrek aan kwalitatief goede gegevens op sommige deelaspecten. Dit betreft zowel gegevens die ontbreken, gegevens die onduidelijk of onderling tegenstrijdig zijn als gegevens die niet afkomstig zijn van een onafhankelijke bron.

Aanbevolen wordt om bij eventuele toekomstige schadegevallen gedetailleerde en onafhankelijke verslaglegging van zowel (aangetroffen) situaties als werkzaamheden te laten uitvoeren, waarbij deze werkzaamheden door deskundig personeel moet worden uitgevoerd.

(2) Het meest waarschijnlijke faalmechanisme lijkt breuk van een groot aantal vezels in de carbonlinten door te sterke buiging door gronddruk waar het lint deze over de signaalkabel ligt als gevolg van de gebruikte lus bij het aanbrengen. De bijzondere mechanische en elektrische eigenschappen van de koolstofvezels zorgen ervoor dat het lint na breuk van een groot deel van de vezels bij gelijke stroom over een groot deel van zijn lengte, zowel voor als achter de breuk heet wordt. Op het contact met de mantel van de signaalkabel zal het lint deze hebben doorgebrand. Het hete lint zal ook het folie hebben doorgebrand waar het ermee in contact stond, dat wil zeggen in een flink deel van de toegepaste lus, zoals weergegeven in de Figuren 2 en 5.

De aanleg direct op het folie en dan nog met een lus van het lint om de signaalkabel wordt gezien als een ontwerpfout die nog ook bij de andere sensoren in de toekomst tot dezelfde problemen kan leiden.

De verklaring dat de oorzaak moet worden gezocht in grote trekkrachten door zettingen of grondverschuiving door fixatie van de eerste koppelingen in drie richtingen, wordt onwaarschijnlijk geacht omdat de het buigpunt van de signaalkabel van loodrecht op de langrichting naar evenwijdig aan de langsricting van de deponie een aantal meters van deze eerste sensoren is verwijderd (Figuur 1).

Ter voorkoming van gelijksoortige schades moet worden uitgesloten dat signaalkabels en carbonlinten nog ooit direct op het folie worden gelegd. Aanbevolen wordt dan ook om signaalkabels en carbonlinten in de drainage- of leeflaag aan te brengen op een tot enkele decimeters boven het folie in een vlak dat evenwijdig aan het folie loopt.

(3)

Het dient daarbij tevens ter aanbeveling om de onafhankelijkheid van het toezicht op de aanleg te waarborgen. Het is essentieel dat de aanleg geschiedt door getraind personeel van Progeo om te garanderen dat de bedrijfservaring ook op het cruciale aspect in de praktijk wordt toegepast. Bovendien moet door deskundig personeel worden toegezien op zorgvuldige en schadevrije afdekking van het detectiesysteem. Op dit punt zijn geen compromissen acceptabel.

(4)

Het dient ter aanbeveling om tijdens de aanleg en voorafgaand aan het installeren van het meetsysteem zettingen en grondverschuivingen te meten en het ontwerp voor het systeem hier eventueel op aan te passen.

(5)

Het is van groot belang om opgravingen alleen te laten verrichten door daarvoor

getrainde of deskundige mensen, toegerust met adequaat materiaal, om er zo voor te zorgen dat geen beschadigingen door het opgraven kunnen optreden.

(6)

Gegeven de conclusie dat ook de andere sensoren en koppelingen in de C2 deponie hetzelfde risico lopen als de koppelingen die nu kapot zijn gegaan, acht de Advieskamer Stortbesluit het essentieel dat alle signaalkabels en carbonlinten worden opgegraven en opnieuw uitgelegd, zonder lussen en in een vlak op een of meer decimeters boven het folie. De integriteit van de C2 deponie is te belangrijk om de huidige risico's in de toekomst te blijven lopen³.

³ Zie ook voetnoot 1

Bijlagen

Bijlage 1: Verantwoording

Onafhankelijkheidsbeginsel

Hierbij verklaart Mr C.J. Meijler, voorzitter van de Advieskamer Stortbesluit, dat bij de totstandkoming van "Incident Geologger op C2-deponie Rotterdam, Advies n.a.v. disfunctioneren van Geologger lekdetectiesysteem op C2-deponie", gedateerd 18 maart 2014 voldoet aan het onafhankelijkheidsbeginsel, zoals vastgelegd in de Leidraad Advieskamer Stortbesluit, versie 1.1.

Betrokkenen bij het advies

Bij de totstandkoming dit advies waren betrokken:

Namens de Advieskamer Stortbesluit:

Mr C.J. Meijler	Voorzitter Advieskamer Stortbesluit
Prof. Dr Ir T.N. Olsthoorn	Gedelegeerde namens Advieskamer Stortbesluit
Prof. Dr Ir A. Bezuijen	Lid Advieskamer Stortbesluit
Prof. Ir J.W. Bosch	Lid Advieskamer Stortbesluit
Dr. J. Breen	Lid Advieskamer Stortbesluit
Prof. Dr A.M. Breure	Lid Advieskamer Stortbesluit
Prof. Dr Ir T.N. Olsthoorn	Lid Advieskamer Stortbesluit
Ir J.F. de Boer	Secretaris Advieskamer Stortbesluit

Geen van bovenstaande personen heeft belangen bij of een professionele verbondenheid⁴ met de adviesvrager of andere belanghebbende partijen in relatie tot het onderwerp van het advies.

Opgemerkt dient te worden dat de heer Breen lid was van de voorganger van de Advieskamer Stortbesluit, te weten het Expertise Netwerk Stortbesluit (ENS). In die hoedanigheid had de heer Breen geen enkele betrokkenheid bij de opstelling van het ENS-rapport. Er vloeit daardoor geen belangenverstrengeling voort uit het ENS-lidmaatschap van de heer Breen.

Conformiteitstoets

Om een goede toepasbaarheid van het advies te bevorderen, kan de Advieskamer Stortbesluit de eindgebruiker van het advies betrekken bij de vaststelling van de definitieve vraagstelling en bij het toetsen van het concept-advies op conformiteit met de vraagstelling. Dit doet zij in de volgende situaties:

- het gevraagde advies is (mede) gericht op het verkrijgen van een vergunning: de vraagspecificatie wordt afgestemd met bevoegd gezag(en).
- het gevraagde advies bevat (mede) elementen die relevant zijn voor de nazorgsituatie nadat het beheer van de betreffende stortplaats(en) zijn overgedragen aan het provinciaal gezag: de vraagspecificatie wordt afgestemd met betreffende provinciaal gezag(en).
- het gevraagde advies bevat (mede) elementen die relevant zijn voor de interpretatie van de Stortregelgeving: de vraagspecificatie wordt afgestemd met het Ministerie.

Ten behoeve van dit advies is niet gebruik gemaakt van de bovenstaande mogelijkheid en wel om de volgende reden: de adviesvrager is – in haar hoedanigheid als nazorgorganisatie – reeds eindgebruiker van het advies. Wel heeft toenmalig ENS het concept-advies voorgelegd aan de adviesvrager, met een positieve reactie tot gevolg.

⁴ "Professioneel verbonden" wordt gedefinieerd als: persoonlijke, financiële, juridische of organisatorische verbondenheid tussen twee of meer natuurlijke of rechtspersonen op zodanige wijze dat er van onderlinge onafhankelijkheid redelijkerwijze geen sprake is

Na uitbrengen van het advies (versie 1.0) heeft een tweetal partijen gereageerd op het advies. Op basis hiervan heeft de Advieskamer Stortbesluit het advies aangepast aan een aantal onduidelijkheden en feitelijke onjuistheden aangepast, waarna de voorliggende versie 1.1 is vastgesteld.

Bijlage 2: Bronnen

Opstellers ENS-rapport

Dr Ir M. Huiberts
Ir D. Pereboom

DNV KEMA Energy & Sustainability
Deltares

Leden Klankbordgroep ENS

Mr W.J. Kattenberg
Ing. A.A.M. Boerboom

Ministerie van Infrastructuur & Milieu
RoyalHaskoning DHV namens Ministerie
Infrastructuur & Milieu

Mw. J. Kok
Dr Ir H.A.E. Mulleneers
Ing. J.S. Groenveld
W. van Hoorn

Vereniging Afvalbedrijven
Trisoplast namens NIBV
NIBV
Provincie Gelderland namens IPO

Geraadpleegde deskundigen

Ten behoeve van ENS-conceptrapport 2012:

Dr Ir F.A. Swartjes
Ir D. Boels
J. Timpert
F. Rasing

RIVM
Freelance Bureau Boels
DNV KEMA
DNV KEMA

Ten behoeve van ENS-eindrapport:

J. Timpert
F. Rasing

DNV KEMA
DNV KEMA

Geraadpleegde belanghebbenden bij opstelling ENS-rapport

Medewerker(s) C2 deponie Rotterdam
Medewerker(s) Provincie Zuid-Holland
Medewerker(s) Enviro Quality Control / Progeo

Documenten en gegevens aangeleverd door adviesvrager

Zie bijlage A in het rapport "Onderzoek naar de oorzaak van folieschade op de C2-deponie; Calamiteit Geologger; ENS/ENL Rapport 2013/02", zoals opgenomen onder bijlage 5 van dit advies.

Overige gebruikte documenten en gegevens

Wiendieck, K, W, 1968. Contribution to the mechanics of rigid wheels on sand. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi, USA. Techn. Report M68-2

Google earth (2013) De timeline van GE heeft satellietbeeld C2 deponie van 2005 en 2012.

Diverse documenten en artikelen over mechanische en elektrische eigenschappen van koolstofvezels (internet).

TNO (2000) Beoordeling van de gelijkwaardigheid van Geologger als dichte eindafwerking van een stortplaats. Auteurs. Drs. A.B.M. Stax en M.Th.Logtenberg. Rapport nr. TNO-MEP 2000/366.

Environment Agent (2002) Electrical Leak Location Testing of Geomembranes. R&D Technical Report P1-419/TR. Author: I.Bishop. ISBN 185705 7740.

EPA (2004) Survey en Technologies for Monitoring Containment Liners and Covers. EPA 542-R-04-013

Progeo (2009) Nachhaltigkeit braucht dichte Deponien. Brochure Progeo. www.Progeo.de.

Progeo (2008) Verleich GEOLOGGER MPLE carbon mit GEOLOGGER CLE. www.Progeo.de, Brochure met enige technische specificities

Leenders, P. (2012) C2 deponie Maasvlakte. Deel 2, presentatie, Westvoorne, Juni 2012. www.westvoorne.nl.

MNO-Vervat (2010) Bovenafdichting C2-deponie Maasvlakte. Monitor 03/2010, p9 (Personeelsblad van MNO Vervat).

Bijlage 3a: Vertaling "Stellungnahme Progeo"

In de "Stellungnahme zum Schaden an den Gegenelektrodenabgriffen der Deponie C2" doet Progeo verslag van haar bevindingen op de C2-deponie. De oorspronkelijke tekst is in bijlage 3.b opgenomen.

In bijlage 3.a is een vertaling opgenomen. Dit is geen letterlijke vertaling. Er is her en der een extra aanduiding toegevoegd om de precisie en de begrijpelijkheid te vergroten voor hen die geen (achtergrond)kennis hebben van de situatie van het Geologgersysteem op de C2-deponie.

[Vertaling]

Stellungnahme zum Schaden an den Gegenelektrodenabgriffen der Deponie C2 (Onze gezichtspunten betreffende de schade aan de koppelingen van de actieve elektroden van de C2 deponie).

Bij deze onze gezichtspunten met betrekking tot de opgetreden schade aan het lekdetectiesysteem Geologger op de C2 deponie en onze waarnemingen die zijn gedaan in het kader van de opgravingen. Hierna geven wij een kort overzicht van de inbouwtoestand, een samenvatting van het tot stand komen van de schade, beschrijven we de waarnemingen na afloop van de opgravingen, de resultaten van het onderzoek naar de oorzaken, de uitgevoerde reparaties en de maatregelen om schade in de toekomst te verhinderen.

Het Geologger systeem bestaat voor wat betreft de onderdelen in de grond uit sensorkabels (zgn. Multipunktlinearelektroden) onder het folie, en actieve elektroden boven het folie (zgn. Gegenelektrodenleidingen) en buiten de deponie aangebrachte aarding die nodig is om te kunnen meten. In de C2 deponie zijn alleen de actieve elektroden boven het folie bij de schade betrokken. Dit zijn kabels met meer aders, waarbij op regelmatige afstanden steeds een ader is verbonden met een geleidend carbonlint, dat contact maakt met de grond. Op de C2 deponie zijn vier signaalkabels toegepast met in totaal 20 elektroden in de vorm van carbonlinten. Twee kabels met elk drie aders lopen in westelijke richting. Dat zijn de Geo1 en de Geo2 (zie Figuur 1). Twee andere kabels, met elk 7 aders, de Geo3 en de Geo4, lopen in oostelijke richting, in de richting van de langsas van de deponie. De kabels lopen vanaf de meetkast in de dwarsrichting van de deponie eerst het talud op. Ter hoogte van de eerste koppeling maken zij een bocht van 90 graden in westelijke respectievelijk oostelijke richting (zie Figuur 1). De carbonlinten die het signaal overdragen zijn na levering bij ons in huis aan de signaalkabel bevestigd en worden bij de aanleg naast de signaalkabel gelegd om een zo gelijkmatig mogelijke verbinding met de grond te bewerkstelligen. Normaal gesproken worden de signaalkabels in de leeflaag gelegd. In afwijking daarvan was voor de C2 deponie gepland om deze direct op het folie te leggen. De carbonlinten werden evenwel loodrecht omhoog geleid en zo in de leeflaag aangebracht (zie Figuur 9).

In Januari 2012 werd geconstateerd dat het systeem een stuk minder werkte door toename van de weerstand bij de eerste sensorkoppeling⁵ van de signaalkabels Geo1 en Geo2 in Figuur 1, dat wil zeggen waar de carbonlinten c.q. sensoren Geo1/1 en Geo2/2 zijn aangesloten.

Bovendien bestond het vermoeden dat er een lek zat in het folie bij Geo2 sensor 1. Dit werd verder geanalyseerd met behulp van de sensoren Geo3/1 en Geo4/1.

Bij opgravingen op 29 februari 2012 werden de Geo1/1 en de Geo2/1 opgegraven. Daarbij bleek dat de signaalkabels op die punten afgebroken waren. Bij sensor Geo2/1 bevond zich inderdaad een lek in het folie, zoals op basis van de analyse van de metingen met de Geo3/1 en de Geo4/1 al was vermoed. Het folie is direct gerepareerd. Gemeten vanaf het punt waar de signaalkabels doorgebroken waren, bleken de sensoren verderop op de deponie, c.q. de carbonlinten Geo1/2, Geo1/3, Geo2/2 en Geo2/3 nog

⁵ wat in het ENS-rapport elektrodenpunten worden genoemd, zijn in de Duitse tekst aangeduid met "Abgriffe". Een elektrodepunt/Abgriff is in feite de koppeling waarmee het carbonlint met één van de koperen aders van de signaalkabel is verbonden.

intact.

Voor de reparatie en eventuele verdere opgravingen is een vervolgspraak gemaakt.

Na uitvoerige analyse van gedetailleerde verdere metingen bleek ook dat de signaalkabels Geo3 en Geo4 minder goed werkten dan direct na aanleg, terwijl er nu tevens verdenking bestond dat er een lek zat bij sensor Geo3/1. Er is toen besloten om alle 4 eerste sensoren, dat wil zeggen de Geo1/1, de Geo2/1, de Geo3/1 en de Geo4/1 op te graven en te vervangen. Ook werd besloten de sensoren Geo1/2 en Geo2/2 op te graven, en zo nodig te vervangen. Dit is gebeurd op 7 en 8 maart 2012.

Gemeten vanaf de sensoren Geo3/1 en Geo4/1 bleken de sensoren verderop, dat wil zeggen de Geo3/2 t/m 7 en de Geo4/2 t/m 7, goed te werken.

Bij het opgraven van de sensoren Geo1/1 en Geo2/1 bleek dat de carbonlinten niet in de zand/grondlaag zaten, wat bij de aanleg wel de bedoeling is geweest. De koppelingen werden ook hier vervangen, hoewel zij niet beschadigd waren. Waar het folie beschadigd was (tijdens het opgraven?) werd het direct gerepareerd.

Bij verwijdering van de koppelingen bleek dat alle aders van de signaalkabels door waren. Deze breuk bevond zich direct achter de eerste sensorkoppeling. Ook het koolstofmeetlint was geheel gebroken. Het carbonlint was destijds ingebouwd met een halve slag om de signaalkabel (zie figuur 2), maar het werd nu niet meer terug gevonden. Het lint was in elk geval losgebroken.

Het kan niet geheel worden uitgesloten dat het carbonlint is beschadigd of verschoven bij het opgraven.

Bij het openen van de koppelingen in het laboratorium van Progeo bleek geen beschadiging aanwezig door ingedrongen vocht (AKS: in de koppeling); de gebruikte materialen waren niet verkleurd. De aanhechting van het carbonlint was binnen de koppeling volledig in tact. De thermoplastische afdichting tegen intrekend vocht was niet beschadigd. De beschadiging ligt dus volledig buiten de sensorkoppeling, maar blijkbaar wel binnen het gebied waar het carbonlint tegen de mantel van de signaalkabel aan lag. De eigenlijke breuk van de kabel laat sporen zien van verbranding, zoals blijkt uit de verkoling van de kabelmantel en de daarbij horende geur.

Verdere mogelijke oorzaken van de schade, zoals materiaalverlies door galvanische werking of door oxidatie kunnen niet worden uitgesloten; gekleurde oxidatieve afzettingen wijzen daarop.

Het foutvrij functioneren van het lekdetectiesysteem gedurende praktisch een jaar, waarna het plotseling faalde, wijst in de richting van een stapsgewijze escalatie van omstandigheden. De waarnemingen suggereren dat het doorsmelten van de koperen aders van de signaalkabel, zoals dat gebeurt bij kortsluiting, het plotselinge eindpunt was van een ontwikkeling die al langere tijd aan de gang was. Hierbij werd tevens de directe omgeving aangetast. De koperen aders van de signaalkabel kunnen bij de toegepaste stroomsterktes alleen smelten als zij door een flinke beschadiging een flink stuk van hun doorsnede kwijt zijn. Zoiets kan bijvoorbeeld gebeuren door materiaalverlies als gevolg van galvanische werking, nadat de mantel van de signaalkabel beschadigd is, en daardoor diens koperen draden in contact staan met vochtige grond. Aangezien de schade alleen aanwezig lijkt in het gebied waar het carbonlint om de sensorkabel is geslagen, lijkt de kabelmantel te zijn beschadigd door het carbonlint.

Beschadiging door verhitting als gevolg van de elektrische stroom door een intact carbonlint mag worden uitgesloten, omdat het carbonlint ook binnen de koppeling dezelfde stroom heeft doorstaan zonder dat daaraan enige schade te zien was. Omdat de thermische isolatie binnen de sensorkoppeling groter is dan verderop in de vochtige grond, zou een oververhitting juist in de koppeling schade hebben moeten veroorzaken. Een thermische beschadiging van de kabelmantel door het carbonlint is alleen mogelijk als de geleidende doorsnede van het carbonlint is afgenomen. Dit zou kunnen gebeuren als een flink aantal van de koolstofvezels is gebroken. Een bovenmatige trekbelasting bij de lus in het carbonlint kan tot een vermindering van de doorsnede hebben geleid, waardoor de elektrische stroom van de actieve elektrode nog slechts door het

overgebleven deel van de koolstofvezels liep en daarin verhitting tot gevolg had.

Een dergelijke schade is nog nergens vastgesteld in de 20 jaar dat de Geologgers in de praktijk worden toegepast. Het feit dat deze schade alleen op de C2 deponie is opgetreden, en daar alleen bij de eerste koppelingen in de kabels van de actieve elektrode, suggereert dat de schade voortkomt uit de omstandigheden tijdens de aanleg op die locatie. Van doorslag gevende invloed is enerzijds de wijze van aanbrengen van de carbonlinten direct op het folie, waarna de carbonlinten loodrecht omhoog gevoerd moesten worden om zo goed contact te maken met de vervolgens aangebrachte grondlaag, en anderzijds het feit dat de signaalkabels bij de eerste koppeling een rechte hoek maken, namelijk van de richting dwars op de lengteas van de deponie naar de langsrichting. Terwijl de signaalkabels bij alle nog intacte koppelingen van de sensoren evenwijdig aan de langsrichting van de deponie verlopen, lopen de kabels naar de eerste koppeling in de dwarsrichting van de deponie, tegen het talud op respectievelijk van het talud af. Hierdoor zijn de eerste koppelingen langs drie assen gefixeerd 1) aan de signaalkabel, gelegen op het folie, die loodrecht het talud op resp. af loopt, 2) aan de signaalkabel die, eveneens gelegen op het folie, evenwijdig aan de lange as van de deponie loopt en 3) aan het carbonlint dat loodrecht op het vlak van het folie is aangebracht om goed contact met de grondlaag te garanderen. Hierdoor zijn juist deze eerste koppelingen aan trekkrachten blootgesteld, die kunnen optreden bij zettingen, maar vooral ook al bij verschuivingen die zich langs het talud voordoen tijdens het aanbrengen van de zand en leeflaag.

Wat betreft de oorzaak van de schade wordt er, samenvattend, vanuit gegaan, dat de carbonlinten van de eerste koppelingen, die de elektrische stroom en spanning overdragen, mechanisch zijn beschadigd, hetzij al bij de aanleg, hetzij later door opgetreden zettingen, waardoor, via een keten van gebeurtenissen, deze koppelingen uiteindelijk kapot gingen.

De beschadigde koppelingen zijn door nieuwe vervangen. De nieuwe koppelingen zijn aangebracht met extra lussen in de kabel, met name in de kabel die het talud op, respectievelijk af loopt. Verdere zettingen zijn nauwelijks te verwachten. Mochten er onverhoopt toch nog verschuivingen langs het talud plaats vinden, dan kunnen deze geen trekkracht meer uitoefenen op de carbonlinten.

Nu, na afloop van de werkzaamheden werkt het lekdetectiesysteem weer volledig. Ondanks het betreurenswaardige optreden van een onverwacht defect, staat vast dat de actieve lekdetectie van de deponie zich heeft bewezen: noch het lekdetectiesysteem, noch de afdichting van de deponie hebben zich ooit in een toestand bevonden die onbekend was of waarbij de afsluiting langdurig in gevaar was. Dankzij de ingebouwde zelfcontrole van het lekdetectiesysteem werden de fout en de gevolgschade gedetecteerd en konden deze met succes worden verholpen.

[Einde vertaling].

Bijlage 3b: Oorspronkelijke tekst "Stellungnahme Progeo"

De onderstaande tekst is inclusief de daarin aangebrachte markeringen aan de Advieskamer Stortbesluit aangeleverd. De markeringen zijn niet van de hand van de Advieskamer Stortbesluit.

PROGEO Monitoring GmbH | Hauptstraße 2 | 14979 Großbeeren

C2 Deponie
Peter Leenders

NIEDERLANDE

Dichtungskontrollsystem geologger, Deponie C2, Stellungnahme zum
Memo C2 Rotterdam bv vom 30. März 2012

Sehr geehrter Herr Leenders,

wie gewünscht nehmen wir zu Ihrem Schreiben vom 30. März wie folgt Stellung:

PROGEO stimmt mit den im oben genannten Schreiben getroffenen Feststellungen überein. Im Gegensatz zur dort aufgeführten Befürchtung, ist PROGEO aufgrund der speziellen Schadensbildung an den ersten Abgriffen der Gegenelektroden der Meinung, dass gleiche Schäden an anderer Stelle nicht zu befürchten sind.

PROGEO bestätigt abschließend, dass die Funktionalität, der Betrieb und die Lebensdauer des Systems nicht durch die Einbaulage der Gegenelektroden auf der Deponie C2 direkt auf Kunststoffdichtungsbahn beeinträchtigt wird.

Mit freundlichen Grüßen

PROGEO Monitoring GmbH


p.p.a. Dr.-Ing. B. Kallies

PRO[®]
we provide confidence

PROGEO Monitoring GmbH
Hauptstraße 2
14979 Großbeeren

Phone: +49 33701 22-0
Fax +49 33701 22-119
E-Mail: progeo@progeo.com
www.progeo.com



Datum: 04. Mai 2012

Geschäftsführer:
Dipl.-Ing. Andreas Rödel

Prokuristen:
Dr.-Ing. Bernd Kallies
Tilmann Schwarz
Dipl.-Mark.- u. Komm.-Wirt (FH)

Amtsgericht Potsdam
HR B 13202
Stz Großbeeren
Gerichtsstand Zossen

Mittelbrandenburgische
Sparkasse Potsdam
BLZ: 160 500 00
Kto-Nr.: 3 648 020 411
Ust.-IdNr.: DE 153645377
IBAN: DE64160500003648020411
BIC: WELADED1PMB

72

Stellungnahme zum Schaden an den Gegenelektrodenabgriffen auf der Deponie C2

Wir nehmen mit diesem Schreiben Stellung zu den aufgetretenen Schäden am Dichtungskontrollsystem *geologger*[®] auf der Deponie C2 sowie zu den Beobachtungen im Rahmen der Aufgrabungen. Im folgenden geben wir eine kurze Übersicht über den Einbauzustand und eine Zusammenfassung der Abläufe und beschreiben die Beobachtungen nach den Aufgrabungen und die Ergebnisse der Ursachenermittlung sowie die durchgeführten Reparaturen und Maßnahmen zur Verhinderung zukünftiger Schäden.

Das Dichtungskontrollsystem *geologger*[®] besteht hinsichtlich der erdverlegten Komponenten aus unter der Kunststoffdichtungsbahn verlegten Sensorenleitungen (Multipunktlinearelektroden) und oberhalb der Kunststoffdichtungsbahn verlegten Signalelektroden (Gegenelektrodenleitungen) sowie einen außerhalb der Dichtung angeordneten Messerder. Im vorliegenden Fall betroffen sind die Gegenelektrodenleitungen, die als mehradrige Kabel ausgeführt werden und die in größeren Abständen jeweils eine Ader über ein elektrisch leitfähiges Carbonband mit dem Erdreich verbinden. Auf der Deponie C2 wurden insgesamt 4 Gegenelektrodenkabel mit insgesamt 20 Abgriffen verwendet, zwei 3-adrige Leitungen in westlicher Richtung (GEo1 und GEo2) und zwei 7-adrige Leitungen in östlicher Richtung vom Standort des Schaltschranks aus (GEo3 und GEo4). Die Gegenelektrodenleitungen verlaufen vom Schaltschrankstandort seitlich der Deponie quer auf die Dichtungsfläche und knicken in Höhe des ersten Abgriffes parallel zur Längsrichtung der Deponiefläche in westliche bzw. östliche Richtung ab. Das signalübertragende Carbonband ist im Auslieferungszustand der Gegenelektrode an der Gegenelektrodenleitung befestigt und wird bei der Verlegung neben der Leitung ausgebreitet, um eine möglich gleichmäßige Erdankopplung zu erreichen. Abweichend von der üblichen Verlegung der Gegenelektrodenleitungen innerhalb der Rekultivierungsschicht, war auf der Deponie C2 die Verlegung der Gegenelektrodenleitungen direkt auf der Kunststoffdichtungsbahn vorgesehen. **Die Carbonbänder wurden senkrecht nach oben in die Rekultivierungsschicht geführt.**

Das Dichtungskontrollsystem *geologger*[®] zeigte bei der regulären Messung im Januar 2012 eine starke Funktionsverminderung durch Zunahme des Ankopplungswiderstandes an den Gegenelektrodenleitungen GEo1 und GEo2 sowie eine Leckageverdachtsstelle in der Nähe des Einbauortes der Gegenelektrode GEo2 Abgriff 1 (GE o2/o1). Zur weiteren Analyse der Situation wurde für die Messungen im westlichen Bereich der Deponie die angrenzenden Angriffe der Gegenelektrodenleitungen GEo3 und GEo4 verwendet, der Leckageverdacht bestätigte sich dabei. Am 29. Februar 2012 wurden die ersten Abgriffe der Gegenelektrodenleitungen GEo1 und GEo2 aufgegraben und festgestellt, dass die Gegenelektrodenleitungen beschädigt bzw. durchtrennt waren, sowie in einem Fall eine Beschädigung der Kunststoffdichtungsbahn am Ort der Schadens und entsprechend des genannten Leckageverdacht aufgetreten war. Die Kunststoffdichtungsbahn wurde sofort repariert. Die weiteren Gegenelektrodenabgriffe auf den

galvanischen Abtrags oder oxidativer Einwirkung vorliegen, wenn der Kabelmantel beschädigt worden ist und die Kupferadern in Kontakt mit Erdfeuchte gelangten. Da der Schaden nur im Bereich der Umschlingung mit dem Carbonband aufzutreten scheint, liegt ein ursächlicher Zusammenhang einer primären Mantelschädigung durch die Carbonfaser nahe.

Eine Schädigung des Kabelmantels durch Erwärmung des stromdurchflossenen intakten Carbonbandes kann ausgeschlossen werden, weil innerhalb des Abgriffes das Carbonband vom gleichen Strom durchflossen wird und dort keine Schäden zu beobachten sind. Dabei ist die thermische Isolation innerhalb des Abgriffes stärker als im feuchten Erdreich außerhalb, eine übermäßige Erwärmung müsste hier also tatsächlich größere Schäden verursachen als außerhalb. Eine thermische Einwirkung des Carbonbandes auf den Kabelmantel kann nur entstehen, wenn der Leiterquerschnitt des Carbonbandes verringert worden sein sollte. Dies kann beispielsweise durch Bruch eines erheblichen Teils der Fasern erfolgen. Eine übermäßige Zugbelastung im Bereich der Umlenkung an der Kabelumschlingung kann zu einer Querschnittsverringering am Carbonband geführt haben, in deren Folge der Strom der Gegenelektrode nur noch durch den verbliebenen Faserrest floss und dort eine Erwärmung zur Folge hatte.

Solche Schäden wurden in den rund 20 Jahren des Betriebs von geologger® Dichtungskontrollsystemen noch nicht beobachtet. Die Tatsache, dass die Schäden nur auf der Deponie C2 und dort nur an den jeweils ersten Abgriffen der Gegenelektrodenleitungen beobachtet werden konnten legt für die Schadensursache einen Zusammenhang mit den dortigen Einbauverhältnissen nahe. Maßgeblichen Einfluss haben dabei die Einbaulage mit direkt auf der Kunststoffdichtungsbahn verlegten Leitungen und deshalb senkrecht durch die Erdschichtung geführten Carbonbändern als auch die Tatsache, dass die Gegenelektrodenleitungen auf Höhe des ersten Abgriffes die Verlegrichtung im rechten Winkel ändern. Während alle noch intakten Abgriffe der Gegenelektrodenleitungen parallel zur Längsausdehnung der Deponie und quer zur Hangneigung verlegt sind, verlaufen die Kabel vor dem ersten Abgriff quer, also hangauf- bzw. abwärts. Der jeweils erste Abgriff ist also durch Vorlaufkabel (entlang Hangneigung), weiterlaufendem Gegenelektrodenkabel (parallel zur Hangneigung) und Carbonband (senkrecht in Rekultivierungsschicht) tri-axial fixiert und damit bei Setzungen, aber auch schon der Neigung folgenden Verschiebungen der Erdmaterials beim Einbau, stärksten Belastungen ausgesetzt gewesen.

Hinsichtlich der Schadenursache wird zusammenfassend davon ausgegangen, dass die strom- und spannungsübertragenden Carbonbänder der jeweils ersten Abgriffe der Gegenelektrodenleitung mechanischer Schädigung beim Einbau oder bei später aufgetretenen Setzungen erlitten und damit eine Schädigungsfolge in Gang gesetzt wurde, die letztlich zur Zerstörung der Abgriffe führte.

PROGEO Monitoring GmbH

Die beschädigten Abgriffe sind durch neue Abgriffe ersetzt worden. Die neuen Abgriffe wurden mit zusätzlichen Kabelschlaufen, insbesondere in Richtung der hangab- bzw. aufwärtslaufenden Vorlaufkabel, eingebaut. Weitere Setzungen sind kaum zu erwarten, sollte aber dennoch hangseitig weitere Verschiebungen auftreten, so wird vom Vorlauf keine direkte Zugspannung am Carbonband mehr aufgebaut werden können. Die übrigen Gegenelektrodenabgriffe sind davon nicht betroffen. Weitere Fehler gleicher Ursache sind nicht zu erwarten.

Nach Abschluss der Arbeiten ist das Dichtungskontrollsystem wieder vollständig funktionsfähig. Trotz des bedauerlichen Auftretens eines unerwarteten Fehlerzustandes bleibt festzuhalten, dass sich das aktive Monitoring des Dichtungssystems bewährt hat. Weder das Dichtungskontrollsystem noch die Dichtung befand sich in einem unbekanntem oder längerfristig gefährdenden Zustand. Mit Hilfe der Selbstkontrolle des Dichtungskontrollsystems wurde der Fehler und Folgeschäden erkannt und konnten erfolgreich beseitigt werden.

Abstract

The excavation and the following analysis showed that only the first of the counter electrodes of each of the 4 counter electrode cables were affected by damages. The final damage pattern is in each case the result of a series of processes which lead finally to the destruction of the counter electrode. The damage occurs not inside the counter electrode housing but at the first few centimeter the carbon-braid is wound around the cable. It can be deduced from the damaged electrodes, the properties of the materials and the installation situation that the primary cause of the destruction process must be a mechanical damage to the carbon-braid which is conducting the electrical current from the counter electrode to the soil.

At the position of the first counter electrode each cables takes a 90° turn to the the lead cable leading to the switch cabinet. Because the counter electrode cables are situated directly on the liner (instead of a standard installation situation above a drainage layer) the carbon-braids are orientated vertically into the soil. As a result of this installation situation any setting will cause a multiaxial tension on the joint between electrode cable, lead cable and carbon-braid, especially since the lead cable follows the falling gradient of the liner surface whereas the rest of the cable continues along a contour line.

The damaged counter electrodes are replaced by new electrodes with additional cable length so that more setting (even if it is unlikely) will not establish any more strain. In the search for more damages two more counter electrodes have been excavated and finally replaced even if they were found completely functional. All other counter electrodes are fully functional. Following the analysis no further damages are to be expected on the C2 landfill.

5/4

PROGEO Monitoring GmbH

The leak detection system is fully functional again. Despite the fact that this damage is an unfortunate incident, the principle of monitoring a sealing has proved to be successful. Even if the incident was unanticipated and beyond expected failures the leak detection system as well as the sealing itself was never in an unknown condition and both could be repaired in a short time.

PROGEO Monitoring GmbH
Großbeeren, im März 2012

5/5

Bijlage 4: Beschrijving C2-deponie

De C2 deponie (Figuren 5 en 6) is een betonnen bak van 300 m lang, 50 m breed en 11 m diep. Hij is tussen 1990 en 2005 gebruikt voor het storten van chemisch afval dat niet op andere wijzen verwerkt kan worden; het is daarmee een van de meest giftige deponieën in Nederland.



Figuur 5: C2 deponie, 300x50x11 m (aangeduid met gele ovaal, vlak bij slufter op de Maasvlakte, bij Rotterdam, Google Earth, 2013)

In de periode 2010-2011 werd de deponie definitief afgedicht (Figuur 7, Leenders, 2012) volgens het volgende systeem zoals weergegeven in Figuur 9. In 2012 kwam het definitieve nazorgplan tot stand. Vanaf 2013 zou de nazorg onder de verantwoordelijkheid van de Provincie Zuid-Holland vallen, dit is voorlopig uitgesteld naar 2014.

Afdichting bovenzijde:

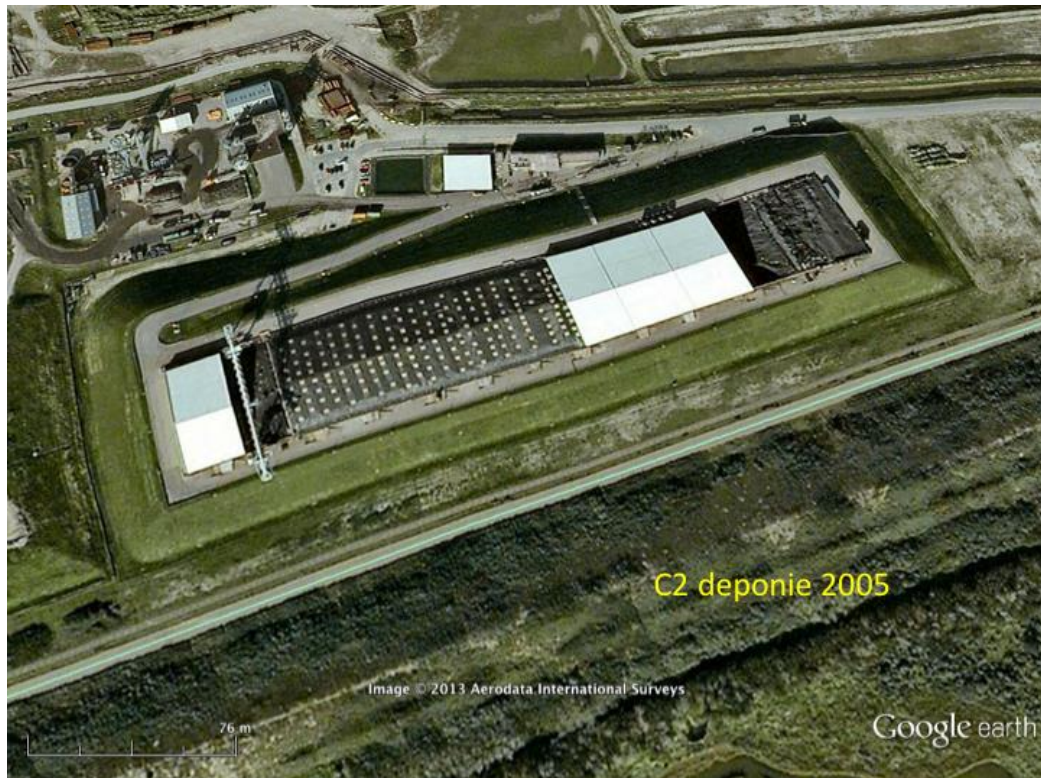
Voor de afdichting van de bovenzijde is gekozen voor een afdichting in combinatie met een permanent actief lekdetectiesysteem Geologger van Progeo in Duitsland, dat gedurende de komende decennia de lekdichtheid van de deponie moet garanderen met een grotere zekerheid dan ooit met passieve afdichtingen mogelijk zou zijn.

Gekozen is voor het Geologger lekdetectiesysteem van het bedrijf Progeo in Duitsland. Het systeem, is al op verschillende locaties in onder meer Duitsland, Nederland, België en de VS toegepast; het heeft een aantal keer lekkages van afdekklagen gesignaleerd die anders, dat wil zeggen met een klassiek passief systeem, niet opgemerkt zouden zijn. Het Geologger-systeem is in staat lekkages met een afmeting groter dan 5 mm te herkennen en tot op 2 m nauwkeurig te lokaliseren.

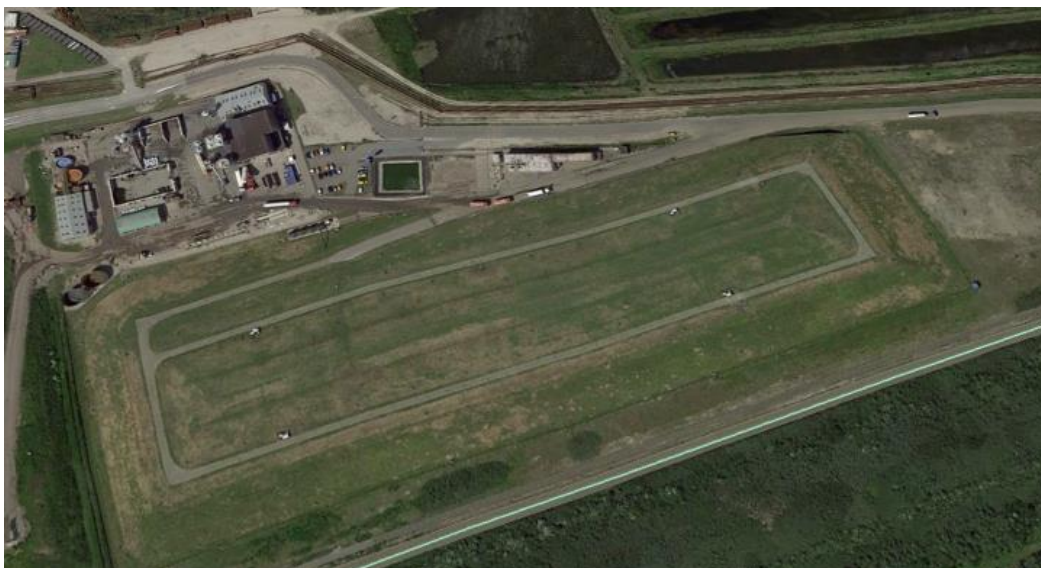
Het principe van het systeem is het sturen van een stroom de grond in via een beperkt aantal actieve elektroden dat zich aan een zijde van het afdekfolie bevindt en de spanning te meten met een fijn net van meet-elektroden aan de andere zijde van het folie. Voor de werking van het systeem is het belangrijk dat er geen wezenlijke lekstroom mogelijk is over de randen van het folie.

Een belangrijke eigenschap van het systeem is dat het verregaand in staat is zijn eigen functionaliteit langs elektronische weg vast te stellen en zo te bepalen wat er in uiteenlopende omstandigheden aan de hand is, wanneer zich afwijkingen voor doen, en deze te lokaliseren. Andere belangrijke eigenschappen zijn begrenzing tegen te grote elektrische stroom, inclusief die door blikseminslag (Progeo, 2008). Ten slotte is van belang dat het netwerk van sensoren en kabels aan de bovenzijde van het folie

toegankelijk is voor reparatie. Tenslotte is belangrijk dat gewerkt wordt met elektroden van koolstof. Deze garanderen een goed contact met de aangebrachte grondlagen die niet door polarisatie of corrosie kan worden teniet gedaan.



Figuur 6: C2 deponie in 2005 (Google Earth). Met tijdelijk afdichting.



Figuur 7: C2 deponie in 2013 (Google Earth)



Figuur 8: Tijdens aanleg bovenafdichting, 2010. (Leenders, 2012)

Voor een goed begrip van de situatie is inzicht in de afdichting van de deponie van belang. Deze is in het ENS rapport beschreven. Hier geven we een toelichting aan de hand van bovenstaande foto's en Figuur 9.

Figuur 6 laat de primaire, dat wil zeggen, tijdelijke folieafdekking van de deponie zien, zoals die ook was tijdens het storten. Het folie is gelegd op zandslakken die op hun beurt op het afval zijn gelegd om een bovenzijde te krijgen van de gewenste dakvorm en stabiliteit en die voldoende egaal is om de stort uiteindelijk adequaat te kunnen afwerken. De dikte van de zandslakken is uiteraard variabel.

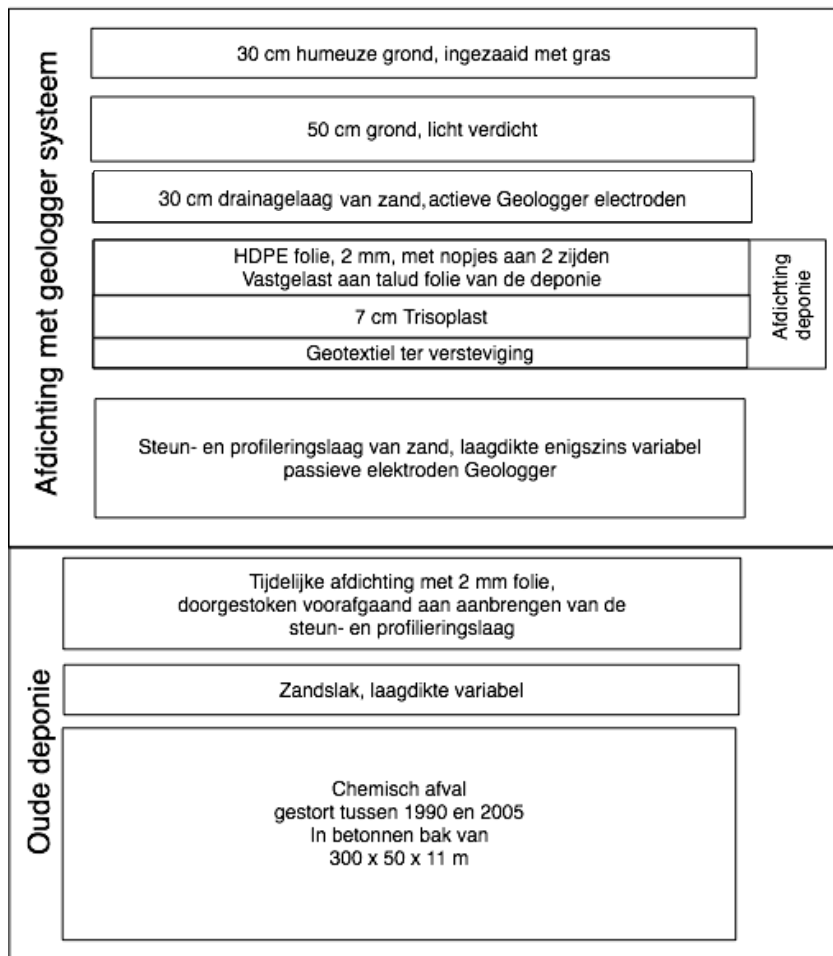
Voorafgaand aan het aanbrengen van de eindafdichting is het folie op veel plaatsen doorgestoken om het ophopen van stortgas onder de bovenafdichting te voorkomen. De eindafdichting wordt getoond in Figuur 9. Dit wordt hieronder toegelicht:

Op de tijdelijke en doorgestoken folie ligt een steun- en profileringslaag van zand. De dikte is enigszins variabel om het gewenste dakprofiel te krijgen. In deze zandlaag zijn de passieve elektroden van het Geologger systeem aangelegd.

Op deze steunlaag is een laag geotextiel gelegd ter versteviging en daarboven op een laag van 7 cm Trisoplast (een proefvak heeft 10 cm Trisoplast en ook bij doorvoeringen schachten is extra Trisoplast toegepast). Trisoplast is een materiaal bestaande uit een polymeer, zand en bentoniet. Bij nat worden reageert het polymeer met water en vormt daarbij een waterdichte gel. Het geheel blijft enigszins flexibel onder zettingen.

Op de Trisoplast ligt 2 mm in de fabriek geprofileerde (van noppen voorziene) HDPE folie. Het folie is vast gelast aan de taludfolie rondom de deponie. Een schortfolie is toegepast bij de pompschachten. Deze schortfolie is met een metalen strip aan de schachten gebout.

Opbouw profiel C2 deponie



Figuur 9: Opbouw afdichting C2 deponie (ENS rapport). Zie ook MNO-Vervat, 2010 over wijze van aanbrengen)

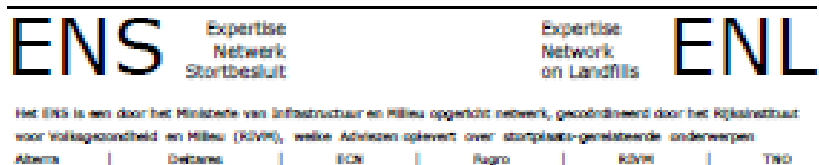
De actieve elektroden van het Geologger systeem zijn direct op het HDPE folie gelegd. De kabels werden tijdelijk gefixeerd met zandzakken. De koolstof carbonlinten zijn verticaal omhoog gevoerd om een goed elektrisch contact te garanderen met de vervolgens aangebrachte drainagelaag van zand (zie Stellungnahme Progeo, maart 2012). Deze drainagelaag van zand is 30 cm dik en dient tevens ter bescherming van de HDPE folie en de elektroden van het Geologger systeem. Het zand is afgedekt met een laag van 50 cm grond. Drainagelaag en leeflaag zijn licht verdicht. Tenslotte volgde een 30 cm humeuze toplaag.

Bijlage 5: Rapport ENS

**Onderzoek naar de oorzaak van
folieschade op de C2-Deponie
Calamiteit Geologger**
Evaluatie van het falen van de sensoren

ENS/ENL Rapport 2013/002

Trefwoorden: Falen sensoren, Geologger, lekdetectiesysteem



ENS/ENL-rapport 2013/002

Colofon

© ENS 2012

Gedeelten van dit rapport kunnen worden gekopieerd, mits met bronverwijzing

ENS Werkgroep 'Calamiteit Geologger'

CONTACTADRES: Expertisenetwerk stortbesluit (ENS): Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), F.A. Swartjes, Postbus 3720 BA Bilthoven, frank.swartjes@rivm.nl

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van AgentschapNL.

Pagina 3 van 34

Voorwoord

Het Expertisenetwerk stortbesluit (ENS; <http://www.agentschapnl.nl/n/node/134710>) is in 2011 opgericht op initiatief van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) heeft in haar hoedanigheid als onafhankelijk wetenschappelijk instituut de coördinatie van ENS toegewezen gekregen. AgentschapNL vervult de rol van Secretariaat. Deze ontvangt Adviesaanvragen en faciliteert administratieve en financiële aspecten van het ENS. Als netwerkorganisatie richt het ENS zich bij haar activiteiten op de inzet van experts vanuit verschillende disciplines, afkomstig vanuit zowel de overheid als uit het bedrijfsleven. Op deze wijze worden de ENS-Adviezen breed gedragen door de belanghebbenden.

Het ENS richt zich op technische aspecten van stortplaatsen. Als zodanig behandelt het ENS vragen vanuit de overheid en vanuit de branche, welke gerelateerd zijn aan wettelijke aspecten geformuleerd in het Stortbesluit bodembescherming en aanverwante regelgeving. Technisch advies kan bijvoorbeeld betrekking hebben op de gelijkwaardigheid van technische oplossingen voor bodembescherming op stortplaatsen, of op transportprocessen gerelateerd aan bescherming van bodem en grondwater. Het ENS is niet verplicht iedere Adviesaanvraag in behandeling te nemen; dit hangt mede af van de beschikbaarheid van expertise en budget. Indien een Adviesaanvraag niet in behandeling wordt genomen, zal ENS dit motiveren.

Gezien de vaak grote belangen voor bijvoorbeeld langjarige bescherming van het milieu en financiële consequenties, is het van groot belang een onafhankelijk Advies te kunnen leveren. Daarom wordt het ENS gesteund op rijksniveau (Ministerie van Infrastructuur en Milieu) en op provinciaal niveau (Interprovinciaal Overleg; IPO). Onafhankelijk wordt verder zo veel mogelijk geborgd doordat ENS-werkgroepleden geen direct belang mogen hebben bij de uitkomst van Adviezen en door middel van "meervoudige afhankelijkheid" (een wat betreft inhoudelijk kwesties elkaar controlerend mechanisme). Op grond van RIVM's wettelijke positie levert deze een onafhankelijke voorzitter, terwijl de kern van ENS wordt gevormd door vijf tot zeven vaste leden, gerekruteerd vanuit de wetenschappelijke instellingen Alterra, Deltares, ECN, Fugro, RIVM en TNO. De leden zijn geselecteerd op basis van hun specifieke expertise met betrekking tot stortplaatsen, met name in relatie tot milieukundige aspecten en vanwege hun onafhankelijke positie. Transparantie is geborgd door de CV's van de experts, welke via de ENS website publiekelijk zijn, en door argumentatie van beweringen en conclusies in de ENS-Adviezen. Alhoewel de voorzitter over expertise kan beschikken dat relevant is voor een specifieke Adviesaanvraag is deze in eerste instantie procesmanager. Diens rol richt zich op het distilleren van consensus, in zo ver mogelijk, en resterende onzekerheden, met het doel dat de wetenschappelijke onderbouwing van de ENS-producten zo veel mogelijk state of art zijn.

Na ontvangst van een Adviesaanvraag via het ENS-Secretariaat gaat de onafhankelijke voorzitter na welke vaste leden het beste kunnen worden betrokken bij de totstandkoming van het Advies en of het vanuit een specifiek expertise zinvol is, en kostenefficiënt te verantwoorden, om additionele ad hoc leden te selecteren. De benodigde activiteiten welke dienen te leiden tot het Advies zullen vervolgens worden beschreven in een projectplan en begroot in een kostenraming. Er zal melding worden gemaakt in de rapportage indien er uiteindelijk geen consensus is onder de werkgroepsleden en als er sprake is van resterende onzekerheden.

De ENS-rapporten zullen worden geëvalueerd door een klankbordgroep, met vertegenwoordigers vanuit het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, het IPO en vanuit de stortbranche. Of en hoe suggesties en opmerkingen vanuit de klankbordgroep leiden tot aanpassing van de rapportage is een autonome beslissing van de ENS-werkgroep.

ENS/ENL-rapport 2013/002

Pagina 4 van 34

Inhoud

COLOFON	2
VOORWOORD	3
INHOUD	5
SAMENVATTING	7
1 INLEIDING	8
1.1 Achtergrond.....	8
1.2 Procedure.....	8
1.3 Samenstelling werkgroep.....	8
2 UITGANGSPUNTEN EN OVERWEGINGEN	9
2.1 Uitgangspunten.....	9
2.2 Werkwijze.....	9
2.3 Niet-inhoudelijke constatering.....	9
3 GEOTECHNISCHE ASPECTEN	11
3.1 Zettingen, stabiliteit, deformaties.....	11
3.2 Zettingen en calamiteit.....	12
3.3 Stabiliteit en calamiteit.....	12
3.4 Deformaties en calamiteit.....	12
3.5 Conclusie en aanbeveling.....	14
4 ELEKTROTECHNISCHE ASPECTEN	15
4.1 Thermische inwerking.....	15
4.2 Indicatieve berekeningen.....	15
4.3 Elektrodelinten.....	17
4.4 Overige constatering.....	18
5 EVALUATIE	21

5.1	Beknopte samenvatting van belangrijke punten.....	21
5.2	Hypothese voor faalmechanisme	21
5.3	Aanvallende opmerkingen bij hypothese faalmechanisme	22
	BESCHIKBARE LITERATUUR EN REFERENTIES.....	24
	BIJLAGE A: OPDRACHTVERLENING VAN AANVRAAG TECHNISCH ADVIES DOOR ENS OVER FALEN GEOLOGGER LEKDETECTIESYSTEEM.....	27
	BIJLAGE B: BENODIGDE INFORMATIE, OPGEVRAAGD VIA DE PROVINCIE ZUID-HOLLAND	30
	BIJLAGE C: LAAGSGEWIJZE OPBOUW BOVENAFDICHTING.....	34

Samenvatting

Op de C2-deponie zijn actieve sensoren van Geologger bezweken. Daarbij zijn gaten gebrand in de HDPE-folie van de bovenafdichting. Volgens ProGeo, de leverancier van het Geologger-systeem, zijn 'onverwachte zettingen' op de locatie de oorzaak. Door de provincie Zuid-Holland is verzocht tot een evaluatie van de oorzaak van het falen van de sensoren en een inschatting of dit probleem zich elders op de deponie eveneens voor zou kunnen doen.

Het onderzoek is uitgevoerd door een specifiek voor deze Adviesaanvraag samengestelde ENS-werkgroep¹.

Voorafgaand aan het onderzoek is al opgemerkt dat de mogelijkheid om de faalmechanismen te kunnen duiden, en derhalve te kunnen extrapoleren naar de overige sensoren op de C2-deponie, sterk afhankelijk is van de beschikbare gegevens. Eerst zijn deze gegevens verzameld. Bij het navolgende onderzoek is de aandacht gericht geweest op de geotechnische en elektrotechnische faalmechanismen die de schade aan het lekdetectiesysteem hebben kunnen veroorzaken. Vervolgens zijn in de evaluatie de belangrijkste bevindingen samengevat en is de hypothese voor het faalmechanisme opgesteld. Hierbij moet worden opgemerkt dat, ondanks een grote absolute hoeveelheid gegevens, er over bepaalde essentiële aspecten weinig gegevens beschikbaar zijn gesteld. Andere essentiële gegevens zijn tegenstrijdig of niet afkomstig van een onafhankelijke bron. De ENS-werkgroep heeft geen inzicht in het antwoord op de vraag of deze essentiële gegevens niet bestaan of dat er andere redenen zijn dat deze niet ter beschikking zijn gesteld.

Een keten van mogelijke gebeurtenissen wordt voorgesteld als mogelijk faalmechanisme:

1. Gedeeltelijke beschadiging van elektrodelinten.
2. Verhoogde temperatuur aldaar.
3. Thermische beschadiging kabelmantel.
4. Vervolgschade aan kabel.
5. Vervolgschade aan folie.

Vanwege de ongebruikelijke verticale positie van (het beginddeel van) de elektrodelinten (normaal zijn deze gelegen in het vlak van de bovenafdichting), en misschien ook vanwege de ligging van de kabels en sensoren direct op de folie, is het mogelijk dat de krachten op de elektrodelinten door het aanlegproces en of tijdens de gebruikperiode veel groter zijn dan normaal. Hierdoor kan de gedeeltelijke beschadiging van elektrodelinten zijn ontstaan. Ook kan beschadiging van elektrodelinten voor of bij aanleg niet uitgesloten worden.

Op basis van de beschikbare gegevens en foto's is er geen aanwijzing voor extreme zettingen of extreme zettingsverschillen over korte afstand. Waarschijnlijker dan 'onverwachte zettingen' kunnen andere oorzaken uit het aanlegproces en of de gebruikperiode aan de orde zijn. Het bovengenoemde gebrek aan sommige essentiële gegevens beperkt de kwaliteit van de evaluatie.

¹ ENS: Expertisenetwerk stortbesluit

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Dit rapport werd opgesteld naar aanleiding van het verzoek van de provincie Zuid-Holland tot ondersteuning bij het verklaren van het falen van het Geologger-lekdetectiesysteem op de C2-deponie in Rotterdam (uw brief "opdrachtverlening van aanvraag technisch advies door ENS over falen Geologger-lekdetectiesysteem", kenmerk PZH-2012-350020371, ongedateerd; zie bijlage A).

Het project gaat in op de oorzaak van het falen van enkele sensoren van het Geologger-lekdetectiesysteem op de nazorglocatie-C2 deponie. Het systeem in de bovenafdichting is aangelegd en in gebruik genomen in maart 2011 (17-03-2011, zettingsmeting 'na aanleg bovenafdichting', tekeningen van aannemer MNO Vervat en leverancier ProGeo zijn van maart - april 2011) Tijdens de metingen van januari 2012 zijn afwijkingen in de meetgegevens geconstateerd, waarna op 29 februari en 7 en 8 maart 2012 onderzoek (en reparatie) door middel van ontgraven is ingesteld. Er zijn zes elektrodepunten opgegraven: thermische schade is ontstaan aan elektrodekabel en folie bij drie van de opgegraven elektrodepunten; bij de overige punten was geen schade aan genoemde onderdelen. Er zijn vier actieve sensoren van totaal 20 van het Geologger-lekdetectiesysteem bezweken. Bij deze drie van de vier zijn gaten gebrand in de HDPE-folie van de bovenafdichting van de stortlocatie. Volgens ProGeo, de leverancier van het Geologger-systeem, zijn onverwachte zettingen op de stortlocatie de oorzaak. Provincie Zuid-Holland heeft twijfels bij deze verklaring en met deze opdracht wordt verzocht tot een evaluatie van de oorzaak van het falen van de sensoren van het Geologger-lekdetectiesysteem.

1.2 Procedure

Het beoogde onderzoek is uitgevoerd door een specifiek voor deze Adviesaanvraag samengestelde ENS-werkgroep en is gericht geweest op de faalmechanismen die de schade aan het lekdetectiesysteem hebben kunnen veroorzaken. Bij deze faalmechanismen kunnen geotechnische of elektrotechnische aspecten een rol spelen. In het project zijn gegevens verzameld en geëvalueerd voor het vaststellen van de faalmechanismen.

Voor de gegevensverzameling werd een lijst opgesteld met de benodigde informatie (zie Bijlage B). Door opdrachtgevende partijen is een grote hoeveelheid data beschikbaar gesteld. Het onderdeel 'Literatuur' achterin dit rapport geeft daarvan het overzicht.

1.3 Samenstelling werkgroep

De volgende deelnemers hebben in het kader van de werkgroep 'Calamiteit Geologger' het uitwerken van de Adviesaanvraag verzorgd:

- Dirk Pereboom (Deltares): opbouw stort en zettingen.
- Martijn Huibers, Jurgen Timpert, Frank Rasing (DNV KEMA): elektrotechnische en materiaalkundige aspecten.
- Frank Swartjes (RIVM): management en redactie rapportage.
- Dethmer Boels (Freelance Bureau Boels): review.

2 Uitgangspunten en overwegingen

2.1 Uitgangspunten

De primaire doelstelling van de evaluatie waarvan in dit rapport de resultaten zijn weergegeven, is het identificeren van faalmechanisme(n) van het Geologger-systeem met betrekking tot de calamiteit begin 2012 bij de C2-deponie in Rotterdam. Daarmee wordt tevens bepaald in hoeverre de door de leverancier van het Geologger-systeem aangedragen oorzaak 'onverwachte zettingen' van toepassing is

Het is hierbij nadrukkelijk van belang, zoals gebruikelijk bij soortgelijke analyses van schadegevallen, en ook gezien de belangen van verschillende betrokken partijen, dat het onderzoek onafhankelijk en objectief plaatsvindt. De betrokken experts hebben daarom hun oordeel gebaseerd op feiten zoals metingen, foto's en rapporten. Overigens wordt hierbij opgemerkt dat rapporten naast feiten zeker ook, namens de opstellers, subjectieve elementen kunnen bevatten. Het is de taak van de betrokken experts daar ter zake kundig mee om te gaan.

Er is ook besloten om niet aan tafel te gaan met verschillende betrokkenen, vanwege het principe van onafhankelijkheid en omdat het daadwerkelijk risico aanwezig is dat een gekleurd beeld ontstaat. Vanwege het ontbreken van cruciale gegevens heeft wel een kort telefoongesprek plaatsgevonden met één expert van ProGeo (de producent van het Geologger-systeem), waarin alleen de benodigde feitelijke informatie is uitgewisseld (voltages, weerstanden en stromen in de Geologger-elektrodes). Ter zake dient vermeld te worden dat Deltares en DNV KEMA (de opstellers van dit rapport) met ProGeo een geheimhoudingsverklaring hebben ondertekend.

2.2 Werkwijze

Na opdrachtverlening zijn eind september / begin oktober 2012 door de opdrachtgevers grote hoeveelheden informatie digitaal aangeleverd. Voor en tijdens verwerking van deze informatie door de werkgroep zijn aanvullende vragen gesteld, zie de lijst opgesteld met de benodigde (extra) informatie (Bijlage B). Dit resulteerde uiteindelijk in het ontvangen van totaal vier pakketten digitale informatie.

2.3 Niet-inhoudelijke constatering

Het is van groot belang om hier te vermelden dat de kwaliteit van de hier beschreven evaluatie in principe gelimiteerd wordt door de kwaliteit van de beschikbare gegevens. In dit specifieke geval spelen onderstaande factoren een rol.

- Er zijn zeer weinig gegevens over bepaalde essentiële aspecten beschikbaar, ondanks een grote absolute hoeveelheid gegevens. Het is voor de werkgroep leden niet mogelijk om in te schatten of bepaalde gegevens bestaan, maar niet beschikbaar zijn gesteld, of überhaupt niet bestaan. Voorbeelden van essentiële gegevens die ontbraken zijn:
 - voldoende en duidelijke (hoge resolutie met specifieke toelichting) foto's van de schade aan elektrodes, kabels en folie;
 - werkwijze bij de aanleg en verdichting van o.a. steunlaag en drainagelaag, welk materieel is hoe ingezet?
 - zettingsgedrag van de locatie tussen augustus 2009 en maart 2011. Deze gegevens kunnen (door opdrachtgevers) gebruikt worden voor toetsing van de voorspelde zettingen;

- een gedetailleerde en onafhankelijke beschrijving van genoemde schades en de activiteiten;
 - testresultaten aan de beschadigde elektrodepunten, elektrodes, stukken folie, etc.;
 - een technische beschrijving van het Geologger-systeem (mogelijk de niet beschikbare Documentatiemap "Lekdetectiesysteem Geologger" waar in een document naar verwezen wordt).
- Sommige essentiële gegevens zijn niet afkomstige van een onafhankelijke bron, wat principiële twijfel oplevert over de betrouwbaarheid ervan. Nota bene: het betekent niet dat zulke gegevens per definitie onjuist zijn, maar zeker gezien mogelijk grote belangen valt niet uit te sluiten dat een zekere mate van kleuring optreedt, wat uiteindelijke conclusies beïnvloedt. De duidelijkste beschrijving en analyse van de schade aan en door het Geologger-systeem is bijvoorbeeld door ProGeo opgesteld, de fabrikant zelf dus niet door of samen met een onafhankelijke partij.
 - Sommige gegevens zijn onduidelijk of tegenstrijdig, zoals bijvoorbeeld de positie van de elektrodelinten. Volgens een bron liggen deze in hetzelfde vlak als het talud, volgens een andere zijn ze juist verticaal aangelegd, en een derde bron geeft aan dat een kort stuk verticaal ligt en de rest horizontaal of met het talud mee (normaal is gelegen in het vlak van de bovenafdichting). Los van onduidelijkheid over de betreffende gegevens rijst hiendoor ook de vraag wat de kwaliteit van andere gegevens is. Een ander voorbeeld is de constatering dat er (locatie 2, 5, 14) geen schade aan de kabels is waargenomen (memo 236065 van Grontmij, 22 maart 2012, Beschikbare literatuur nr 63). Het is niet duidelijk of daarbij ook aandacht heeft bestaan voor mogelijke microbeschadiging van de kabelmantel.

3 Geotechnische aspecten

3.1 Zettingen, stabiliteit, deformaties

Geotechnische aspecten bij stortplaatsen betreffen zettingen (verticale deformaties) van stortlichaam en ondergrond, en de stabiliteit van taluds. Bij stabiliteitsverlies treden deformaties op. Daarnaast zijn tijdens de aanleg van stortplaatsen en zeker afdichtingsconstructies ook vervormingen aan de orde; ook in de gebruiksfase kan dit zo zijn. In het navolgende wordt kort ingegaan op deze drie aspecten.

In het algemeen vormen uniforme zettingen geen bezwaar bij de afdichtingsconstructies, omdat deze als geheel, inclusief een Geologger-systeem, de zetting kunnen volgen. Als er echter zettingsverschillen optreden, kunnen delen van de constructie worden belast op trek of druk, leidend tot eventuele rek of stuk. Doorgaans zijn deze rek en / of stuk ten opzichte van grenswaarden klein. Alleen een relatief diepe zettingskuil of trog kan, als een calamiteit (b.v. door bezwijken van een deel van de stort, door instorting van / in holle ruimtes), worden beschouwd als potentieel bedreigend voor de integriteit van de afdichting, zeker als de verhouding tussen diepte en de 'lengte' waarover de kuil aanwezig is relatief groot is.

Bij de stabiliteit en stabiliteitsverlies van taluds zijn zowel macro-stabiliteit (b.v. afschuiven van een deel van het talud inclusief een deel van het stortlichaam, of het afschuiven van delen van lagen van de bovenafdichting) als micro-stabiliteit aan de orde. Bij micro-stabiliteit kan b.v. gedacht worden aan het uitspoelen van gronddeeltjes uit de afdeklaag onder invloed van uitstromend grondwater.

Bij de aanleg van de bovenafdichting, er wordt dan een extra bovenbelasting aan gebracht, ondergaat het stortlichaam doorgaans enige deformatie door samendrukking. Doorgaande, latere, vervorming wordt onder het begrip 'zetting' geduid. Waar hier heel specifiek op geduid moet worden zijn de vervormingen, tijdens de aanleg, van en in de bovenafdichting zelf. De steunlaag, de minerale afdichtingslaag, de drainagelaag en de leeflaag worden laagsgewijs aangebracht en verdicht. Zowel bij het uitspreiden van het materiaal als bij het verdichten, kunnen, afhankelijk van werkwijze en ingezet materieel, in het materiaal zelf vervormingen optreden. In de gebruiksfase kan dit ook nog aan de orde zijn indien met (te) zwaar materieel en of trillingen op de locatie wordt gewerkt. Indien de constructies zoals op de C2-deponie op een talud worden gemaakt, kan zeker tijdens verdichting niet worden uitgesloten dat er een geringe, naar beneden resulterende, verplaatsing van materiaal optreedt.

Bij verdichting van de drainagelaag op de folie met bijvoorbeeld een wals, treden er onder de wals groundbewegingen op waarbij lokaal aanzienlijke rek kan optreden en meer naarmate de ondergrond slapper is. Voor de wals wordt de grond enigszins opgestuwd (bulldozer effect), waardoor een denkbeeldig punt in voor- en opwaartse richting wordt bewogen, loodrecht onder de wals wordt de opgestuwde grond in neerwaartse richting bewogen (en verdicht), waarbij het bewuste denkbeeldig punt in neerwaartse richting wordt bewogen en op een lager niveau eindigt dan het oorspronkelijk niveau. Voorbij het laagste punt onder de wals wordt de grond in achterwaartse en enigszins opwaartse richting bewogen, waarbij het denkbeeldig punt in achter- en opwaartse richting wordt bewogen².

De folie die is toegepast betreft een HDPE-folie (tweezijdig geprofileerd), type Carbofol PEHD 406 dik 2,0 mm, MF/MF KIWA. Deze ruwe folie kan tot haakweerstand leiden en dus van invloed zijn op het koolstofvezelint dat op de folie is aangebracht.

² Wieldick, K. W., 1968. Contribution to the mechanics of rigid wheels on sand. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi, USA. Techn. Report M68-2

3.2 Zettingen en calamiteit

Het omhoog voeren van de elektrodelinten buiten het denkbeeldige vlak door folie en daar bovenop gelegen kabels en sensoren van het Geologger-systeem heeft bij het optreden van zettingen of zettingsverschillen onbekende consequenties. In het algemeen zullen de verschillende lagen van de afdichtingsconstructie en ook de omhoog gevoerde elektrodelinten de uit de ondergrond of stortlichaam komende zettingen en zettingsverschillen volgen. Bij meer extreme zettingsverschillen en dus grote vervormingen is er sprake van grotere schuif- en trekspanningen en belasting op trek en buiging van de elektrodelinten.

Bij de C2-deponie komen zettingen en zettingsverschillen in verschillende rapporten aan de orde. In beperkte mate zijn meetgegevens beschikbaar voor en na het constateren van de calamiteit bij het Geologger-systeem begin 2012. Ook geven de foto's genomen tijdens het constateren en repareren van de calamiteit een beeld.

Op basis van de beschikbare gegevens en foto's is er geen aanwijzing voor extreme zettingen of extreme zettingsverschillen over korte afstand. Op basis daarvan is te verwachten dat de afdichtingsconstructie de opgetreden zettingen en zettingsverschillen heeft kunnen volgen. Mogelijk is hierbij in geringe mate trek en buiging op de elektrodelinten ontstaan.

In het algemeen wordt aanbevolen de zettingspredictie die voor het aanbrengen van de bovenafdichting is uitgevoerd te toetsen en te vergelijken met uitkomsten van de metingen zoals die in 2011 en 2012 beschikbaar zijn gekomen. Voor zover bekend bij het opstellen van dit rapport in november 2012, is dit destijds niet gedaan.

3.3 Stabiliteit en calamiteit

Uit de beschikbare gegevens en foto's is geen aanwijzing af te leiden die duiden op verlies van macro-stabiliteit of micro-stabiliteit. Van afschuiven van een deel van het talud en stortlichaam wordt geen melding gemaakt. De bovenafdichting is niet op een horizontaal vlak aangelegd. De bovenafdichting heeft een talud van 1:4. De hellingshoek is circa 14 °. Er is sprake van een flauw talud, waarbij verlies van stabiliteit niet reëel is.

Ofschoon het niet waarschijnlijk is dat hier een mogelijk de oorzaak voor de calamiteit ligt, wordt wel geconstateerd dat er in de beschikbare gegevens geen informatie is gevonden aangaande bijvoorbeeld een berekening van macro-stabiliteit van taluds en een berekening van de weerstand tegen onderling afschuiven van lagen in de bovenafdichting, tijdens de aanleg en tijdens de gebruiksfase.

3.4 Deformaties en calamiteit

In paragraaf 3.1 is algemeen ingegaan op de vervormingen, tijdens de aanleg, van en in de bovenafdichting zelf. In het materiaal van de verschillende lagen kunnen vervormingen optreden als gevolg van uitspreiden en verdichten. Daarbij zijn, met betrekking tot het boven de folie aangebrachte deel van het Geologger-systeem, twee afwijkingen ten opzichte van de 'standaard' aanlegwijze van belang:

1. Kabels en sensoren zijn direct op de folie gelegd en niet, zoals gebruikelijk, in of op de drainagelaag. Tijdens de aanleg zijn de kabels en sensoren door het plaatsen van zakken puntsgewijs gefixeerd op de folie. Bij plaatsing in of op een (eerste deel van) de drainagelaag zullen bij een volgende ophooglaag kabels en sensoren gefixeerd worden / blijven omdat ze vrijwel direct in de al aanwezige grond worden gedrukt (ook bij een kuststofdrainagemat zal dit effect enigszins een gunstige rol spelen). Bij de op de C2-deponie gehanteerde werkwijze kunnen uitspreiding en

(geringe)verplaatsing van grondmassa's de tussen de zakken vrij liggende kabels en sensoren 'meenemen' waardoor deze onder trekspanning komen te staan.

2. De elektrodelinten zijn bij aanleg omhoog gevoerd en daarmee buiten het denkbeeldige vlak door folie en daar bovenop gelegen kabels en sensoren van het Geologger-systeem gekomen. Zoals gesteld in paragraaf 2.3 is echter de positie van de elektrodelinten, welke door de ENS-werkgroepleden is afgeleid uit informatie van producent ProGeo, onduidelijk. Juist deze aanpak maakt de elektrodelinten kwetsbaar. Aan één zijde zijn ze gefixeerd bij de elektrode, terwijl het vrij uitlopende deel de vervormingen van de bovenliggende laag / lagen moet volgen. Naar boven toe gaande zullen bij uitspreiden en verdichten de vervormingen in het algemeen groter worden. In deze zone is het materiaal, zowel de grond, als de elektrodelinten, onderhevig aan schuif- en trekspanningen.

Op basis van de beschikbare gegevens ("De drainagelaag en bovenliggende afdekkingen zijn op de gebruikelijke wijze aangebracht") en foto's zijn er geen concrete aanwijzingen zichtbaar voor extreme vervormingen. De uiteindelijke wijze van aanbrengen van de elektrodelinten is niet uit beeldmateriaal af te leiden.

Onzorgvuldige uitvoering bij aanleg in de zin van het niet compleet of niet ter zake deskundig uitleggen en installeren van elektrodelinten, kabels en sensoren is in het bovenstaande niet besproken. Er zijn geen aanwijzingen dat hiervan sprake is geweest. Het blijft vreemd dat bij alle zes opgegraven sensoren delen van de elektrodelinten niet zijn teruggevonden., zie ook paragraaf 4.1.

Er zullen, zoals ook in de laatste alinea van paragraaf 3.1 al is aangegeven, bij uitspreiden en verdichten vervormingen zijn opgetreden. Beide bovenstaande afwijkingen maken het waarschijnlijk dat, meer dan normaal bij de aanleg, het systeem van kabels en sensoren en zeker de daarmee verbonden elektrodelinten aan vervormingen onderhevig zijn geweest.

Het kan niet uitgesloten worden dat er trek op de elektrodelinten is ontstaan. Naast trek kan ook buiging en knik van de linten aan de orde zijn geweest, voor of tijdens de aanleg. Het is denkbaar dat zulke belasting leidt tot het breken van de relatief broze koolstofvezels in het elektrodelint, wat het functioneren beïnvloedt (zie hoofdstuk 4).

Volgens een van de leden van de klankbordgroep hanteert ProGeo een rek van max 10% zonder dat er schade ontstaat [Boerboom, 2012]. Over vouwen/knikken van de elektroden (dus niet specifiek de linten) is bekend dat een buigstraal $> 10 \times$ kabeldiameter als 'overmatig' wordt beschouwd. Bij krimpkousen is buigen niet toegestaan [Boerboom, 2012].

De ENS-werkgroep heeft geen informatie van ProGEO over toleranties. Wel staat in het programma van eisen voor lekdetectie (11 PvE lekdetectie.pdf) dat actieve elektroden respectievelijk meetelektroden een toegestane rek mogen hebben van $<15\%$ resp. $<12\%$. Carbonvezels (zoals de elektrodelinten) hebben doorgaans een veel kleinere maximale rek.

Vervormingen in de bovenafdekking kunnen ook als gevolg van vervormingen in de onderliggende lagen (in dit geval b.v. het stortlichaam) ontstaan. Ook kunnen (kort) na aanleg, in neerwaartse richting langs het talud, eventueel veroorzaakt door trilling vanuit materiaal op het talud, nog vervormingen optreden. Een drijvende kracht in neerwaartse richting langs het talud is altijd aanwezig (als ontbondende van de zwaartekracht). Deze vervormingen kunnen in de loop van de tijd de eventuele 'mechanische' belasting op het systeem van kabels en sensoren en de daarmee verbonden elektrodelinten doen toenemen.

3.5 Conclusie en aanbeveling

De gevolgen van geotechnische mechanismen op elektrodelinten, kabels en sensoren zijn lastig te kwantificeren. Het tijdstip waarop schade kan zijn ontstaan is niet gedetailleerder aan te duiden dan als 'tijdens aanleg' of 'tijdens de gebruiksfase' (zettingen). Bedacht moet worden dat een lichte schade door mechanische belasting voor de elektrische eigenschappen van belang kan zijn in een eventueel later tijdstip waarop het systeem als geheel faalt. Hier wordt in hoofdstuk 4 verder ingegaan.

Beschadiging aan elektrodelinten door de genoemde mechanismen kan aan de orde zijn. Er zijn voor wat betreft de aanleg van het systeem onvoldoende gegevens beschikbaar om hier, terugblikkend, een meer pertinente uitspraak over te kunnen doen. Daarnaast is het fenomeen van grondbeweging onder een wals (of trilplaat) tijdens de aanleg, de daarmee samenhangende lokale rek en de eventuele schade aan de elektroden en kabels slechts na (tijd- en geldvragende) diepgaande studie en experimenten te kwantificeren. Dit geldt ook voor vervormingen (kort) na aanleg.

4 Elektrotechnische aspecten

4.1 Thermische inwerking

De schades aan de (actieve) Geologger-elektrodekabels, elektrodelinten en aan de folie zijn gedocumenteerd met beperkt fotomateriaal en summiere beschrijvingen van opgraving en waarnemingen daarbij. Verder geeft ProGeo in haar analyserapport nog enkele waarnemingen weer (en interpretatie daarvan). Hoewel de hoeveelheid bruikbare informatie in deze primaire bronnen beperkt is, kan er tenminste uit worden afgeleid dat thermische inwerking lijkt te zijn opgetreden bij de schades, als hoofdoorzaak dan wel als vervolgschade.

Ter verduidelijking, de hier gehanteerde begrippen "elektrode", "elektrodekabel" en "elektrodelint" hebben de betekenis als volgt:

- Elektrode = het ding met de functionaliteit, dus het afgeven van de stroom aan de ondergrond.
- Elektrodelint = het stuk carbon lintmateriaal waaruit de elektrode bestaat.
- Elektrodekabel = de kabel met alle elektrode(linte)n eraan.

Omdat elke elektrode uit precies en exclusief één lint bestaat is het elektrodelint ook meteen de elektrode. Elektrode en elektrodelint zijn als gevolg hiervan in veel gevallen uitwisselbare begrippen, waarbij het gebruik van het één of het ander door de context ingegeven wordt. Iemand kan in deze situatie verward raken als hij of zij onvoldoende weet hoe het systeem in elkaar steekt. Als de lezer wel weet hoe het systeem in elkaar steekt is er geen onduidelijkheid.

Een van de leden van de klankbordgroep voegt het volgende daar aan toe (Boerboom, 2012): In het ProGeo systeem treden de elektrodelinten binnen in een krimpkou. Daar wordt via een metalen buis contact gemaakt met een koperfolie, die weer in contact staat met één (\varnothing 1,3 mm?) koperdraadje.

Een mogelijk elektrotechnisch relevant feit, op zijn minst zeer opvallend, is dat bij alle opgegraven elektrodepunten de elektrodelinten niet zijn aangetroffen, of slechts een kort stuk. De eerste vraag die rijst is hoe dit mogelijk is. Chemische degradatie van koolstofvezels in een zandlaag is uiterst onwaarschijnlijk, evenals spoorloze verbranding of verplaatsing. Het ligt veel meer voor de hand dat de elektrodelinten, of tenminste resten / sporen / delen daarvan, wel degelijk nabij de elektrodepunten aanwezig waren in de bodem, maar dat deze om onbekende redenen niet zijn waargenomen. Op basis van de beschikbare gegevens valt hier niets over te zeggen.

Wat met zekerheid gesteld kan worden is dat op enig moment tijdens aanbrengen van de bovenlaag, gebruik, en/of opgraven van de elektrodepunten een beschadiging is opgetreden aan de elektrodelinten. Een volgende vraag die rijst is of een causaal verband kan bestaan tussen de eerder genoemde schijnbare thermische inwerking bij drie van de zes opgegraven elektrodepunten, en beschadiging nabij de elektrodepunten. Hier wordt in de volgende paragraaf nader op ingegaan, uitgaande van realistische waarden voor stromen, voltages en weerstanden in Geologger-elektrodekabels en -elektrodelinten.

4.2 Indicatieve berekeningen

Direct bij het aanhechtingspunt staat de volle potentiaal op het lint, en is ook de stroomdichtheid in het lint het grootst. Over de gehele lengte van het lint wordt stroom afgegeven aan de omringende ondergrond, waardoor de stroom over de lengte van het lint afneemt tot nul. Uitgaande van realistische waarden van een stroom van 1 A door het lint en een weerstand van 12 Ohm per meter (voor een totale weerstand van 72 Ohm),

dissipeert het lint als gevolg van de Ohmse weerstand 12 Watt per meter direct bij de aanhechting aan de kabel.

Discussie

De volgende opmerking / vraag wordt geplaatst [Boerboom, 2012]:

De afgifte van stroom aan de ondergrond is alleen mogelijk als er ook een 'ontvanger' is. Dit zijn normaal de passieve elektroden onder de folie (zodra er een gat is). Verder kan er sprake zijn van lekstromen langs de randen. Is het mogelijk dat deze stroom groter is geweest dan normaal gebruikelijk? Dit leidt dan ook tot grotere dissipatie (warmteafgifte). En zijn er dan locatie specifieke aspecten (metaal in de wandconstructies van de deponie, rails op de wanden van de deponie, etc.?)

Kan er een lekstroom zijn opgetreden bij de kabeldoorvoeren door de folie (overigens zou dit dan uit de metingen van Geologger moeten blijken).

Antwoord van de auteurs, m.m.v. van Jurgen Timpert (DNV KEMA):

Deze vraag is niet te beantwoorden zonder exacte kennis over de aard van de stroom/spanningsbronnen die met de elektrode zijn verbonden. Het is zeer waarschijnlijk dat de stroom door een elektrodelint op één of andere manier begrensd is, maar hoe dit werkt en op welke waarde de begrenzing is ingesteld vergt gedetailleerde kennis van de elektronica van de Geologger. Ervan uitgaande dat de stroom is begrensd, kan gesteld worden dat de dissipatie ook altijd begrensd is. Hierdoor zou de maximale dissipatie in het lint maar in zeer beperkte mate afhankelijk zijn van de exacte eigenschappen van de (lek)stromen in de bodem. Echter, de argumentatie betreffende de verhoogde lokale dissipatie als gevolg insnoering/beschadiging van het elektrodelint bij het uittreepunt blijft ongewijzigd.

Als nu, bijvoorbeeld door beschadiging, het oppervlak van doorsnede van het lint wordt gereduceerd, dan moet de stroomdichtheid in het intacte gedeelte van het lint proportioneel toenemen om de totale stroom gelijk te houden. Dit betekent, in het hypothetische geval van een reductie van het doorsnee-oppervlak met 50%, een verdubbeling van de dissipatie per eenheid lengte op de plaats van de scheur. Ter plaatse van de beschadiging is de dissipatie omhoog gegaan naar 24 Watt per meter. Echter, deze dissipatie moet nu worden afgevoerd door de helft van het oorspronkelijke materiaalvolume, en dit volume heeft maar de helft van het oorspronkelijke oppervlak beschikbaar om de warmte aan de omgeving over te dragen.

De vermogensdichtheid is dus met een factor 4 omhoog gegaan, met een navenante temperatuurstijging tot gevolg.

Discussie

De volgende opmerking / vraag wordt geplaatst [Boerboom, 2012]:

Kan ook temperatuurstijging ontstaan door verhoogde spanning a.g.v. inductie? Te denken valt aan langs elkaar lopende leidingen, of lastransformatoren bij laswerkzaamheden nabij het lekdetectiesysteem.

Antwoord van de auteurs, m.m.v. van Jurgen Timpert (DNV KEMA):

Dat is niet snel te verwachten, omdat de spanning die door inductie door lastraf's wordt opgewekt in de regel niet meer dan een fractie van een volt is. Er is een betrekkelijk hoogohmige weerstand in de secundaire lus, die gevormd wordt door de weerstand van het lint zelf en door de weerstand van de bodem, waardoor de stroom die gaat lopen als gevolg van deze lage spanning ook heel laag is, en dus geen opwarming van betekenis kan veroorzaken.

De vermogensdichtheid ter plaatse van een beschadiging is evenredig met de gekwadeerde fractie nog intact materiaal ter plaatse van de beschadiging. Dit betekent dat een lint dat bij de aanhechting bijvoorbeeld voor 90 % is ingescheurd, ter plaatse van de scheur een dissipatie moet verwerken met een vermogensdichtheid die 100 maal hoger ligt dan het geval is bij een intact lint. Dit, gecombineerd met de matige warmtegeleiding door zand, maakt het aannemelijk dat temperaturen worden bereikt die hoog genoeg zijn om de plastic kabelmantel te doen smelten, zo'n 120 tot 130 °C voor een polyethyleen

kabelmantel (volgens informatie van ProGeo zit er een dunne aluminium 'cable shield' in de kabel). De precieze temperatuur die bereikt wordt is echter zeer lastig te berekenen, en vereist gegevens over de thermische geleiding van de omringende grond en materialen, details over het gebruikte elektrodelint en precieze gemeten elektrische grootheden, en ook meer gegevens over de opgetreden schade aan de elektrode.

Het antwoord op de in de vorige paragraaf gesezen vraag is dus dat er inderdaad een causaal verband kan bestaan tussen een beschadigd elektrodelint en significante temperatuurstijging ter hoogte van een doorsnede-verminderende beschadiging.

Discussie

De volgende opmerking / vraag wordt geplaatst (Boerboom, 2012):

Zijn er redenen te bedenken waardoor niet de stroom maar de spanning (tijdelijk) te hoog is geweest. Bijvoorbeeld door blikseminslag die niet goed via bliksemafleiding is afgevoerd?

Antwoord van de auteurs, m.m.v. van Jurgen Timpert (DNV KEMA):

Een blikseminslag in de grond nabij een elektrode is mogelijk. Als echter een inslag schade heeft veroorzaakt, dan zou dit ook te zien moeten zijn in de elektronica van de Geologger, omdat deze ook is blootgesteld geweest aan de te hoge, extern opgelegde spanning. Deze schade is naar ons beste weten niet vastgesteld.

4.3 Elektrodelinten

Een elektrodelint zit na uittrekking uit een elektrodepunt een slag om de elektrodekabel gewikkeld.

Discussie

De volgende opmerking / vraag wordt geplaatst (Boerboom, 2012):

Is dat zo? Voor zover mij bekend is dat geen standaard werkwijze. Of is het specifiek bij C2 Deponie op deze wijze aangebracht? Daar heb ik geen aanwijzingen voor.

Antwoord van de auteurs:

Dat is zo volgens ProGeo (zie 120507 Stellungnahme Schaden GE Deponie C2 V002.PDF). Volgens verdere vertrouwelijke info van ProGeo is het standaard dat de elektrodelinten met een aantal windingen om de kabel gewikkeld zijn.

Volgens ProGeo is dit waar de kabelschade is opgetreden. Als de elektrodelinten tijdens aanbrengen van de bovenlaag of tijdens gebruik mechanisch beschadigd raken, dan zal dit naar verwachting gebeuren nabij genoemde windingen, dus in de buurt van de elektrodekabel.

Discussie

De volgende opmerking / vraag wordt geplaatst (Boerboom, 2012):

Wordt bedoeld: nabij het aansluitpunt met de elektrodekabel. Een winding kan namelijk nog afschulven (er zit speling op), of niet?

Antwoord van de auteurs:

Formulering is juist: nabij de genoemde windingen. Bedoeld wordt met name dat het elektrodelint niet op een willekeurige plaats breekt.

Aangezien verhoogde warmteontwikkeling zal optreden op het punt waar het elektrodelint gedeeltelijk afgescheurd of afgebroken is geraakt, zal eventuele schade daardoor rondom die windingen op kunnen treden. Bij voldoende hoge temperatuur kan de mantel van de elektrodekabel daar beschadigd raken. Afhankelijk van de optredende temperatuur kan binnen korte tijd acuut, of juist progressief over een lange periode, de kabelmantel zodanig beschadigd raken dat vochtintrede kan plaatsvinden. Wanneer de isolatiemantel van de zich in de elektrodekabel bevindende drie of zeven aders ook voldoende beschadigd is geraakt, kan vervolgschade optreden. Hierbij valt te denken aan corrosieve beschadiging van het koper, en zelfs kortsluiting tussen aders tot gevolg, wat op zijn beurt weer grote warmteontwikkeling tot gevolg heeft, en uiteindelijk kan leiden tot volledige kabelbreuk. Nota bene: het is op grond van de beschikbare gegevens niet te zeggen of genoemde processen zijn opgetreden, maar wel dat een redelijke mogelijkheid bestaat.

Als een elektrodelint overigens geheel is loogeraakt (afgescheurd, afgebroken, ...), dan zal geen warmteontwikkeling optreden. Er zal dan door de kleinere elektrodelengte (c.q. elektrodeoppervlak) een hogere weerstand ontstaan richting de aarde, wat volgens ProGeo ook gemeten is, en een lagere stroom die door een onveranderde doorsnede van het resterende stuk loopt. De vermogensdichtheid is dan zelfs lager dan voorheen in onbeschadigde toestand.

In tegenstelling tot een geheel gebroken kabel kan een gedeeltelijk gebroken kabel naar verwachting moeilijk of niet worden gedetecteerd met behulp van elektrische metingen aan het Geologger-systeem, omdat de totale weerstand en stroom nauwelijks zullen veranderen. Deze moeilijke detecteerbaarheid is zeer nadelig, want een gedeeltelijke breuk is juist de situatie die zou kunnen leiden tot thermische schade, en deze schade kan dan op elk moment in ontwikkeling zijn, of al opgetreden zijn waardoor vervolgschade mogelijk zou kunnen worden gemaakt.

Met betrekking tot de elektrodelinten kan tenslotte nog gezegd worden dat het bij normaal gebruik en onbeschadigde elektroden onwaarschijnlijk is dat thermische inwerking zal optreden, gezien elektrodeontwerp en betreffende voltages, stromen en weerstanden.

4.4 Overige constatering(en)

Hieronder staan enkele overige constatering(en) die van belang kunnen zijn bij het formuleren van faalmechanisme(n).

- Het scenario dat eerst om onbepaalde redenen een niet door Geologger veroorzaakt gat in de folie ontstaat, dat vervolgens op enigerlei wijze leidt tot de waargenomen schade aan kabels en elektroden, is beschouwd en niet realistisch bevonden. De stroom door een (al dan niet beschadigd) elektrodelint zal waarschijnlijk niet zodanig toenemen dat dan wel thermische inwerking ontstaat; ook zonder gat vloeit er namelijk al een behoorlijke stroom via de aarde weg. Ook is er in dit scenario geen verklaring voor de primaire folieschade, en verklaart het niet dat de folieschades juist bij de elektrodepunten opgetreden zijn en thermisch van aard lijken.
- Op basis van beschikbare gegevens lijkt de kabelschade niet mechanisch (bijvoorbeeld een te grote trekkracht) maar primair thermisch. Zulk doorbranden van het gebruikte type kabel treedt normaliter nooit op voordat kabelmanteel beschadigd is, en dat treedt normaliter niet op bij de optredende stromen en in het milieu van de zandlaag.

Discussie

De volgende opmerking / vraag wordt geplaatst (Boerboom, 2012):

Zand heeft onvoldoende geleiding, maar nat/verzadigd zand? Of hoger zoutgehalte in het vocht in de zandlaag?

Antwoord van de auteurs, m.m.v. van Jurgen Timpert (DNV KEMA):

Nat zand is geregeld te verwachten, vanwege regen. Echter, diezelfde regen zal ervoor zorgen dat een eventueel aanwezige zoutconcentratie wordt weggespoeld uit de open structuur van het zand. Het op locatie toegepaste drainagezand heeft maximaal een geleiding van 540 [$\mu\text{s}/\text{cm}$] en een maximaal chloride gehalte van 35 [mg/kg], zie tabel 4.1. Uit de geleidbaarheidsdata blijkt wel dat het gebruikte zand ietwat zout bevat, maar de gegevens over de chlorideconcentratie verklaren niet geheel het grotere verschil in geleiding dat gemeten is tussen de beide zandsoorten. Het zou dus nog iets met het vochtgehalte te

maken kunnen hebben, dit heeft een sterke invloed op de geleidbaarheid van het zand.

Overigens is een bekend fenomeen bij overbelaste kabels dat de grond eromheen "droogkookt". Als de grond rond zo'n kabel zijn vocht goeddeels kwijt is, dan verslechtert de thermische geleiding en kan de temperatuur ter plaatse ineens "de pan uit rijzen". De grond rondom de aanhechting van het elektrodelint aan de kabel is wel kandidaat voor zo'n proces omdat de stroomdichtheid daar maximaal is, zeker als er al een beschadiging aanwezig is in het lint. Daar staat tegenover dat het in de lijn der verwachting ligt dat er iets van een stroombegrenzing in de elektronica van de Geologger zit, waardoor het zonder al een beschadiging te hebben vrijwel onmogelijk zou moeten zijn voor het elektrodelint om oververhit te raken door een te hoge stroom. De maximale dissipatie in de linten is dan ook maar in beperkte mate afhankelijk van het omringende milieu, zeker als er door infiltrerende neerslag toch bij herhaling sprake is van aanvulling van vocht in de drainagelaag rondom de kabel. Het al dan niet aanwezig zijn van zo'n stroombegrenzing is onbekend, daar zijn geen data van beschikbaar. Wel blijft staan dat het proces van lokaal "droogkoken" van de grond een stuk waarschijnlijker is bij een al ietwat ingesnoerd of ingesneden lint bij de aanhechting.

	zand Schiedam	zand Batenburg
Geleiding [$\mu\text{s}/\text{cm}$]		
Gemiddeld	410	69
Max	540	81
Min	230	40
Els	n.v.t.	n.v.t.
Chloride [mg/kg]		
Gemiddeld	18	12,3
Max	35	17
Min	10	10
Els	< 200	< 200

Tabel 4.1. Geleiding [$\mu\text{s}/\text{cm}$] en Chloride [mg/kg] uit 19
Overzicht kwaliteitscontrole drainagelaag.pdf

- Aangezien bij een elektrodepunt de kabelmantel wordt opengemaakt bij vervaardiging, kan het in principe gebeuren dat vochtintrede via de nieuwe afsluiting daarvan plaatsvindt, of dat door een vervaardigingfout een probleem in de kabel ontstaat dat uiteindelijk kan leiden tot kabelbreuk (bijvoorbeeld kortsluiting). Dit is echter in tegenspraak met het feit dat thermische inwerking aan de buitenzijde van elektrodepunten is opgetreden, en het door ProGeo gestelde dat alle elektrodepunten geheel intact waren. Ook verklaart het niet dat in alle gevallen de elektrodelinten niet zijn teruggevonden.
- Op basis van de beschikbare gegevens, die nota bene geen analyse van de elektrodekabelschade of een opgegraven elektrodepunt bevatten, komt geen andere oorzaak van thermische inwerking naar voren dan verhitting van (een gedeelte van) het elektrodelint.
- Als een continue meting zou worden uitgevoerd, waarbij 24 uur per dag spanning op de kabel staat en stroom door het systeem vloeit, dan kan lokale ontvochtting niet worden uitgesloten. Vanaf de overgang van kabel naar elektrode diffundeert dan ten gevolge van de opwarming van het bodemvocht mogelijk waterdamp via het luchtgevuld poriënstelsel naar bodemcompartimenten met een lagere

temperatuur. Afhankelijk van de samenhang tussen het vochtgehalte en de capillaire transportcapaciteit ("onverzadigde doorlatendheid") en de potentiaalgradient in het bodemvocht, stroomt in omgekeerde richting water terug naar het "uitdrogend" compartiment. Indien echter het damptransport groter is dan het capillair transport, droogt de bodem lokaal uit, waardoor het warmtegeleidingvermogen afneemt en de kabel en elektrode kunnen opwarmen. Dit laatste kan worden verwacht in een niet met waterverzadigde medium met een grove textuur. Dit verschijnsel zal zich vooral in perioden met langdurige droogte kunnen voordoen.

Een grote rol voor het bovenstaande proces in het faalmechanisme wordt echter onwaarschijnlijk geacht gezien het feit dat volgens ProGeo de metingen slechts eens per dag plaatsvinden en slechts kort duren, waarbij bovendien slechts enkele elektroden tegelijk worden ingezet. De betreffende tijd is zodanig klein dat het proces naar verwachting onvoldoende tijd krijgt om in significante mate op te treden, voordat herstel van het vocht- en temperatuurevenwicht plaatsvindt in de intervallen tussen metingen.

5 Evaluatie

5.1 Beknopte samenvatting van belangrijke punten

- de calamiteit heeft zich in het relatief gemakkelijk toegankelijk deel van de isolatie van de C2-deponie – boven de folie- voorgedaan;
- de beschadigde elektroden zijn volgens opgave van de producent eenvoudig en deugdelijk gerepareerd; zie ook nr. memo 236065 van Grontmij, 22 maart 2012 (Beschikbare literatuur nr 63) en 507_br120503_Stellungnahme_zum_Memo_v_30_Maart.pdf (Beschikbare literatuur nr 72) de elektrodekabel en elektrodelinten zijn op de C2 deponie rechtstreeks op de folie aangelegd, in plaats van in de laag erboven zoals gebruikelijk;
- de wijze van plaatsing van de elektrodelinten is onduidelijk;
- het is niet duidelijk hoe de zandlaag over de elektrodekabel en elektrodelinten is aangebracht en verdicht;
- er zijn zes elektrodepunten opgegraven: vier nabij bij een splitsing van de elektrodekabel in twee haakse richtingen, en twee langs een recht liggende kabel;
- thermische schade is ontstaan aan elektrodekabel en folie bij drie van de opgegraven elektrodepunten; bij de overige punten was geen schade aan genoemde onderdelen;
- bij alle opgegraven elektrodepunten zijn elektrodelinten geheel niet of voor een groot deel niet teruggevonden;
- ~~• volgens ProGeo zijn dergelijke schades in tientallen jaren niet eerder opgetreden bij hun systeem;~~
- volgens ProGeo is geen schade opgetreden binnen de elektrodepunten, slechts direct daarbuiten;
- op basis van ruwe elektrotechnische berekeningen wordt significante lokale warmteproductie bij een beschadigd (maar niet geheel doorgescheurd) elektrodelint goed mogelijk geacht; bij een onbeschadigd elektrodelint of elektrodepunt lijkt dit onwaarschijnlijk.

5.2 Hypothese voor faalmechanisme

Al het voorgaande in aanmerking nemend wordt de volgende hypothese, bestaande uit verschillende onderdelen, voorgesteld als faalmechanisme.

1. **Gedeeltelijke beschadiging van elektrodelint.** Een elektrodelint raakt beschadigd op zodanige wijze dat de doorsnede significant kleiner wordt. Oorzaken hiervan kunnen zijn (en/of):
 - a. krachten op de elektrode door het aanlegproces (verdichting door wals, ...)
 - b. krachten op de elektrode door zettingen of andere processen tijdens de gebruikperiode
 - c. elektrodelinten die voor of bij aanleg al beschadigd waren, bijvoorbeeld door breken van een deel van de vezels (o.a. door buiging en / of knik)

Op basis van de beschikbare gegevens en foto's is er geen aanwijzing zichtbaar voor extreme zettingen of extreme zettingsverschillen over korte afstand. Waarschijnlijker dan 'onverwachte zettingen' kunnen andere oorzaken uit het aanlegproces en of de gebruikperiode aan de orde zijn. Het bovengenoemde gebrek aan sommige essentiële gegevens beperkt de kwaliteit van de evaluatie.

Het is zeer goed mogelijk dat de bij 1a en 1b genoemde krachten veel groter zijn dan normaal vanwege de ongebruikelijke verticale positie van (het begindeel van) de elektrodelinten, en misschien ook de ligging van de kabels en sensoren direct op de folie. Trek en buiging en / of knik die daarbij is opgetreden is mogelijk dus ook groter dan normaal.

De locatie van de gedeeltelijke breuk zal meestal op de plek zijn waar het elektrodelint uittreedt uit het elektrodepunt, op of zeer nabij de kabelmantel. Het is mogelijk dat in bepaalde gevallen direct of uiteindelijk volledige breuk optreedt van het elektrodelint. Zodra dit gebeurt zijn geen schadelijke gevolgen meer te verwachten.

2. **Verhoogde temperatuur aldaar.** Afhankelijk van de doorsnede van het beschadigde deel van het elektrodelint, wordt de stroomdichtheid daar verhoogd, en dus ook de temperatuur.
3. **Thermische beschadiging kabelmantel.** Bij voldoende afgenomen doorsnede en voldoende toegenomen stroomdichtheid bereikt de temperatuur een zodanige waarde dat de kabelmantel beschadigd raakt, en vervolgens ook het binnenste van de kabel. De doorlooptijd van dit proces hangt af van de bereikte temperatuur.
4. **Vervolgschade aan kabel.** Als de kabelmantel en eventueel het binnendeel van de elektrodekabel beschadigd is geraakt, kan vochtintrede verdere schade veroorzaken door bijvoorbeeld oxidatie van de koperaders. Ook kan verdere schade ontstaan door kortsluiting binnenin en verdere warmteontwikkeling daardoor. De doorlooptijd van deze processen kunnen zeer uiteenlopend zijn. Deze processen leiden uiteindelijk tot breuk van de kabel, mogelijk versterkt door mechanische krachten op de kabel.
5. **Vervolgschade aan folie.** Door de warmteontwikkeling in het gedeeltelijk beschadigde elektrodelint en/of (indien van toepassing) de vervolgens beschadigde elektrodekabel beschadigt het onderliggende folie.
6. **Volledige breuk elektrodelinten.** Het geheel doorbreken en losraken van de elektroden, zoals aangetroffen bij alle zes opgegraven elektrodepunten, zou op één of meerdere van de volgende manieren opgetreden kunnen zijn:
 - a. de bij onderdeel 1a en/of 1b genoemde krachten, eventueel in combinatie met onderdeel 1c
 - b. thermische inwerking, als gevolg van eerdere doorsnedevermindering
 - c. breuk door het opgraafproces

Voor de duidelijkheid: In alle gevallen zal een elektrodelint voordien al gedeeltelijk zijn beschadigd met vervolgeffecten zoals bij eerdere onderdelen aangegeven.

5.3 Aanvullende opmerkingen bij hypothese faalmechanisme

In de normale situatie van het Geologger-systeem is de elektrode in een zandlaag gelegen. Eventuele warmteontwikkeling leidt dan niet tot folieschade. Kabelschade had wel kunnen optreden.

Welke processen dan ook de oorzaak zijn van het losraken van (vrijwel) een geheel elektrodelint, vanaf het moment dat een elektrode volledig is losgeraakt zullen de delen geen thermische inwerking meer kunnen veroorzaken.

Discussie

De volgende opmerking / vraag wordt geplaatst [Boerboom, 2012]:

Op zich een juiste constatering. Maar breuk is dus niet altijd het gevolg van thermische inwerking. Blijft dan het lint soms bij hoge temperaturen wel functioneren, en andere keren niet?

Antwoord van de auteurs:

Breuk is inderdaad niet noodzakelijkerwijs het gevolg van thermische inwerking, zie (verduidelijkte) tekst bij punt 6.

Verder, zolang geen breuk is opgetreden blijft het elektrodelint over de gehele lengte stroom afgeven.

Dat betekent dat, afhankelijk van de aard en snelheid van het elektrodebreekproces, gevallen kunnen voorkomen dat breuk geen schade veroorzaakt – namelijk als een gedeeltelijke breuk niet of slechts gedurende zeer korte tijd voorkomt. Mogelijk heeft dit plaatsgevonden bij de detectiepunten waarbij geen kabel- en folieschade is opgetreden.

Tenslotte moet nogmaals nadrukkelijk worden gesteld dat de hoeveelheid bruikbare informatie voor deze analyse met betrekking tot faalmechanismen zeer beperkt was. Bij eventuele vervolgwerkzaamheden alsook bij eventuele toekomstige al of niet vergelijkbare (mogelijke) schadegevallen wordt met klem aangeraden verslaglegging van elke werkzaamheid en observatie gedetailleerder en onafhankelijk te laten uitvoeren.

Beschikbare literatuur en referenties

[Boerboom, 2012]

Email bericht van A.A.M. (René) [rene.boerboom@rhdhv.com] aan Kattenberg, W.J. (Willem) - DGMI

donderdag 6 december 2012 16:44

Onderwerp: FW: Klankbordgroep ENS, conceptadvies calamiteit Geologger

Nr.	Bestandsnaam
0	0 Bijlagevoorbladen.pdf
1	1. Notitie 2.pdf
2	2 Rapportage Boels effect Steunlaag op Trisoplast.pdf
3	3.4_Rebuild tekening legplan geologger.pdf
4	3. MvO BRL9321 936-10-BBK.pdf
5	4. Analyses steunlaag.pdf
6	5 Toetsing milieukwaliteit zand Steunlaag.pdf
7	6 gradering zand steunlaag.pdf
8	7 Overzicht kwaliteitscontrole steunlaag.pdf
9	8 Tekening Steunlaag laagdikte en verdichting.pdf
10	9 productiecontrole.pdf
11	10 Verificatie trisoplast door directie.pdf
12	11 PvE lekdetectie.pdf
13	11 Tekening Trisoplast laagdikte en verdichting.pdf
14	12 rapportage drainzanden.pdf
15	13 Certificaat drainagezand schiedam + K-waarde.pdf
16	14 Certificaat zand Batenburg.pdf
17	15 Analyses milieukwaliteit drainzand.pdf
18	16 Toetsing milieukwaliteit zand drainagelaag.pdf
19	17 Analyses granulaire samenstelling drainzand.pdf
20	18 K-waarde analyses.pdf
21	19 Overzicht kwaliteitscontrole drainagelaag.pdf
22	20 Tekening drainagelaag laagdikte en verdichting.pdf
23	21 Notitie gekeurde grond (2).pdf
24	22 Partijkeuring Westvoornweg te Rockanje rapportage 104027 v00.pdf
25	23 Partijkeuringen Sprundelsebaan.pdf
26	24 Analyses milieu onderlaag.pdf
27	25 Analyses milieukwaliteit bovenlaag.pdf
28	26 Toetsing milieukwaliteit onderlaag.pdf
29	27 Milieutoetsing bovenlaag.pdf
30	28 Overzicht analyses Leeftlaag.pdf
31	29 Tekening Leeftlaag laagdikten.pdf
32	30-1 revisie eindsituatie V_3 20110406 overzicht (goede versie).pdf
33	30-1 revisie eindsituatie V_3 20110406 overzicht.pdf
34	30-2 revisietekening percolaatafvoeringen (goede versie).pdf
35	30-2 revisietekening percolaatafvoeringen.pdf
36	31 Conformiteitsverklaring folie C2 Deponie.pdf
37	32. kwaliteitscontrole kunststoffolie c2 deponie.pdf

38	33 B1 Leveringsbonnen en materiaaltesten.pdf
39	34 B2 Productcertificaat en eigenschappen folie.pdf
40	35 B3 Procescertificaat Prose.pdf
41	36 B4 Controlelijst testresultaten proefflassen.pdf
42	37 B5 Certificaten vakbekwaamheid lassers.pdf
43	38 B6 Controlelijst veldlassen.pdf
44	39 B7 Controlelijst handlaswerk.pdf
45	40 B8 Testrapporten lasverbindingen en kunststoffolie.pdf
46	41 B9 Banen identificatie.pdf
47	42 Legplan revisietekening.pdf
48	43 B10 Testrapport wrijvingsweerstand.pdf
49	44 Bepaling levensduur van de folie.pdf
50	090909_Deltares_Second_opinion_afdichting_C2_deponie-versie_2.pdf
51	091019_2009-10-17 rapportage Wm 3 4 6 concept5.doc
52	091118_ENBB_Advies_17_1.pdf
53	091118_ENBB_Advies_17_verzonden.pdf
54	091218_C2_boordelling_toestand_D2_incl_bijlagen.pdf
55	110616_Keuringsrapportage_C2_deponie_versie_C3[1].pdf
56	110621_30-1 revisie eindsituatie V_3 20110406 overzicht.pdf
57	120131_C2_DKS120127.pdf
58	120131_C2_Rep120127.pdf
59	120315_C2_verschilmeting 22-02-2012 met actieve elektroden boven folie.pdf
60	120330_C2_DKS120328.pdf
61	120330_C2_Rep120328.pdf
62	120331_geologger_schade.doc
63	120402_EQC_controle reparatie folie_120322.pdf
64	120402_legplan_c2_deponie_Versie_MNO_AD_VERSIE_D_reparaties.pdf
65	120412_DMS_MP_21361567-v1-Rotterdam_Loswalweg_50_C2-deponie_melding_ongewoon_voorval.PDF
66	120426_br120330_MNO_FertigstellungReparatur.pdf
67	120426_br120426_MNO_QM_Unterlagen_Reparatur.pdf
68	120426_QM_Produktionsprotokoll_GE_Reparatur_C2.pdf
69	120426_QM-Pruefprotokoll_GE_Reparatur_C2_20120308.pdf
70	120426_QM-Wartungsprotokoll_GE_Reparatur_C2_20120308_.pdf
71	120505_C2_Rep120502.pdf
72	120507_br120503_Stellungnahme_zum_Memo_v_30_Maart.pdf
73	120507_C2_DKS120402.pdf
74	120507_C2_DKS120502.pdf
75	120507_C2_Rep120402.pdf
76	120507_Lage_GE.pdf
77	120507_memo_toezicht_reparaties_Geologger_D1.pdf
78	120507_Stellungnahme_Schaden_GE_Deponie_C2_V002.pdf
79	120510_documenten_ongewoon_voorval.doc
80	120521_GS_antwoord_ongewoon_voorval.doc
81	120709_memo_toezicht_reparaties_Geologger_D1.pdf
82	120716_GS_3_juli_ongewoon_voorval.doc
83	120928_ENS_additional_ggegevens_adviesaanvraag PZH_C2-deponie.doc

84	20091021_rapport_beoordeling_eindtoestand_oktober_2009.pdf
85	Addendum Keuringsrapportage bovenafdichting C2-deponie_120424.pdf
86	C2_ongewoon_voorval_antwoordbrief_C2_Rotterdam.MSG
87	ENBB_070515_Advies_nr_5_26_04_07Geologger_C2deponie.doc
88	ENBB__advies_nr_17_C2_deponie_VERZOEK_OM_TOELICHTING.MSG
89	FW Vragen Geologger .msg
90	geologger_cle_Flyer_engelisch[1].pdf
91	IMG_2362.jpg
92	IMG_2363.jpg
93	IMG_2364.jpg
94	IMG_2365.jpg
95	IMG_2367.jpg
96	IMG_2368.jpg
97	IMG_2391.JPG
98	IMG_2392.JPG
99	IMG_2393.JPG
100	IMG_2394.JPG
101	IMG_2395.JPG
102	IMG_2401.JPG
103	IMG_2404.JPG
104	IMG_2406.JPG
105	Informatie Testgaten.MSG
106	Keuringsrapportage C2 deponie versie C3.pdf
107	Leakagetest_LV_T1_2_3.pdf
108	Nazorgplan S000089520 231681.pdf
109	P080311_13.59_[01].jpg
110	P140311_10.38_[01].jpg
111	PA140378.JPG
112	PA140380.JPG
113	PA140381.JPG
114	PA140382.JPG
115	PA140383.JPG
116	PA140384.JPG
117	PA140385.JPG
118	PA140386.JPG
119	PA140387.JPG
120	PA140388.JPG
121	R0001 Haskoning C2 deponie Inspectie aanleg bovenafdichting Provincie ZH.PDF
122	Rapport Arcadis Eindinspectie C2-deponie def totaal[1].pdf
123	Reactie op Notitie Addendum keuringsrapport bovenafdichting C2.doc

Bijlage A: Opdrachtverlening van aanvraag technisch advies door ENS over falen Geologger lekdetectiesysteem

Agentschap NL
Secretariaat ENS
T.a.v. de heer C. Abbas
Postbus 93144
3009 AC DEN HAAG

Onderwerp
Opdrachtverlening aanvraag technisch advies door ENS
over falen Geologger lekdetectiesysteem
Gemeente : Rotterdam
Locatie : C2 deponie
Gebiedscode : ZH059910001

Geachte heer Abbas,

Naar aanleiding van onze offerte als volgt via e-mail van 29 juli 2012 en uw ontvangen offerte van 6 september 2012 (aanspraak: ENS-2012-003) verlenen wij u hierbij opdracht voor het uitvoeren van fase 1 van het technisch advies. Het betreft een evaluatie van de oorzaak van het falen van enkele sensoren van het Geologger lekdetectiesysteem op locatie C2 deponie te Rotterdam.

Op de C2 locatie zijn vier actieve sensoren van het Geologger lekdetectiesysteem bezwijken en hebben hierbij gasen gebruikt in de HD PE-olie van de bovenaflichting van de stortlocatie. Volgens Progeo, de leverancier van het Geologger systeem, zijn onverwachte zettingen op de stortlocatie de oorzaak. Provincie Zuid-Holland heeft bij deze verklaring en met deze opdracht wordt verzocht tot een evaluatie van de oorzaak van het falen van de sensoren van het Geologger lekdetectiesysteem.

Het besagde onderzoek wordt uitgevoerd door de ENS-werkgroep en zal zijn gericht op de faalmechanismen die de schade aan het lekdetectiesysteem hebben kunnen veroorzaken.

Deze opdracht betreft fase 1, waarin gegevens worden verzameld en geanalyseerd voor het vaststellen van de faalmechanismen. Na afloop van fase 1 zal een beslissing worden genomen voor wat betreft continuering van fase 2.

Voor nadere details over de werkzaamheden binnen fase 1 verwijzen wij kortstondig naar de bijlagen van uw offerte.

Directie Ruimte en Mobiliteit
Afdeling Ruimte, Wonen en Goederen
Contact
L.J.H. de Haan
T: 070 - 440 94 79
E: de.haan@pact.nl

Postbus Provinciehuis
Postbus 90802
2009 LP Den Haag
T: 070 - 440 90 11
www.zuid-holland.nl

Datum
014-2012-200800071

De aanspraak
ENS-2012-003

Bijlagen
1

Besluitnummer:
Zuid-Hollandseplan 1
2008-001 Den Haag

Transit en bestel nr.
sluipen 4000/141
postcode.nl, land
station Den Haag 1200
het bestelnummer
De postkamer van
www.nl.nl



FDH-2012-200800071 ed. 13-09-2012



PROVINCIE
ZUID-HOLLAND

Document
PDH-2012-30020071

De kosten in fase 1 zijn als volgt opgebouwd:

--kostenvergoeding experts	28 uren	€ 15.025,-
--operaatkosten secretariaat	1 uren	€ 734,-
TOTAAL KOSTEN FASE 1	29 UREN	€ 15.760,-

Deze opdracht wordt door u uitgevoerd voor het totaalbedrag van € 15.760,- (zegge: vijftienduizend zeventiendertig euro) exclusief BTW (= € 18.014,94 inclusief 19% BTW). Dit bedrag is een maximumbedrag. Ingeval van overschrijding van het maximumbedrag noodzakelijk blijkt te zijn, wijzen wij u erop dat de afrekeningen in rekening kan worden gebracht nadat hiervoor met ons schriftelijk overeenstemming is bereikt.

Met betrekking tot het toekennen BTW (brief merken wij op dat wij als BTW brief voor 1 oktober 2012 19% factureren en vanaf 1 oktober 2012 21%.

In overeenstemming met uw offerte kunt u een factuur indienen voor de betaling van een voorschotbedrag van 50% van het offertebedrag.

U doet op de geprecificeerde facturen het (aantal van deze brief te vermelden en deze te retourneren aan:

Provincie Zuid-Holland
 n.v.v. Concentratiebeding Financien - Kamer A 303
 n.v.v. Koningplein 420
 Postbus 90602
 2508 LP Den Haag

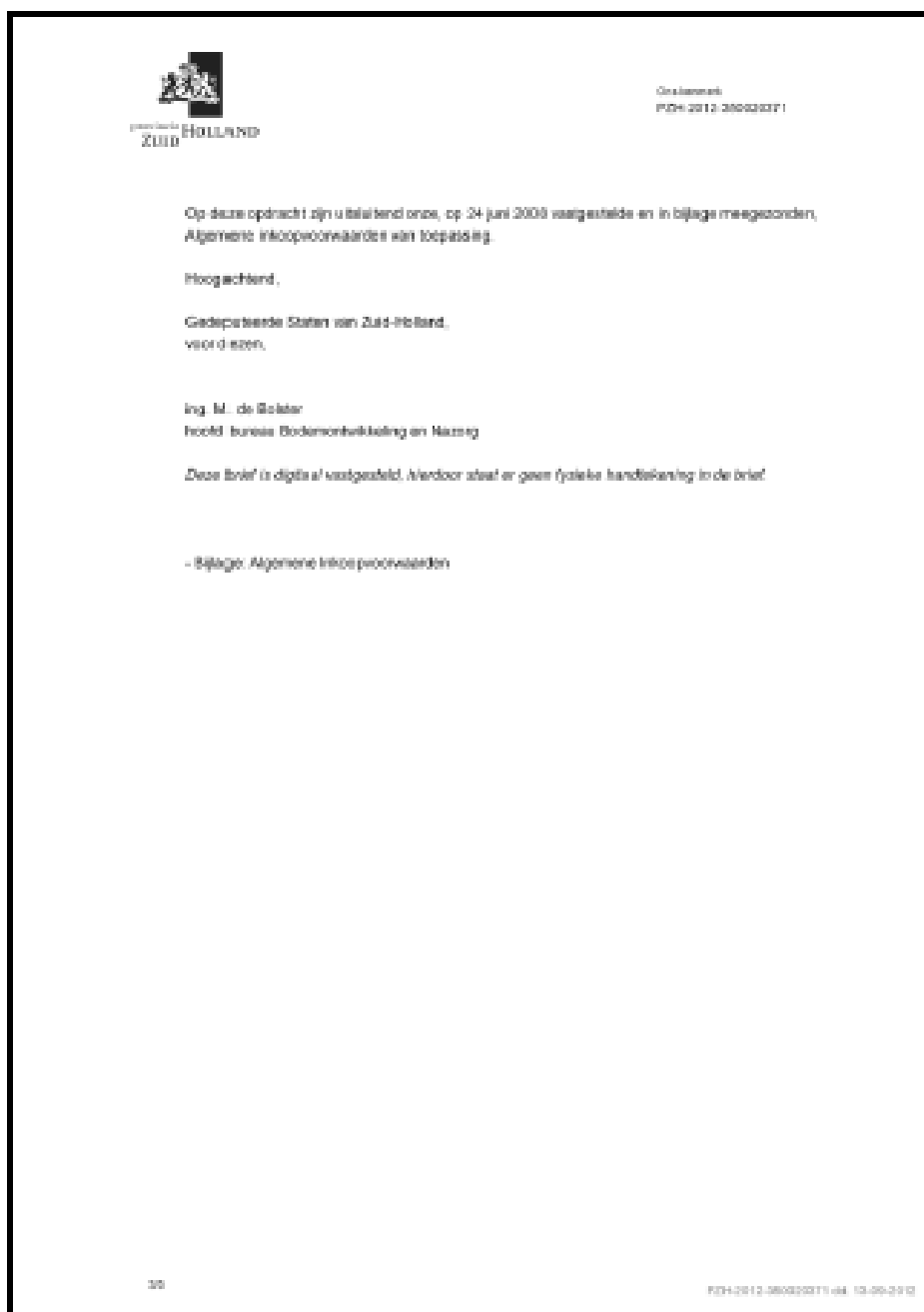
Wij verzoeken u, voordat een factuur wordt ingediend, aan de betrokken medewerker van Bureau Rijkswaterstaat een concept van de specificatie van de factuur te overleggen. Indien wij binnen 14 dagen na de datum van ontvangst van de conceptfactuur hiervoor met u geen contact hebben opgenomen, kunt u de definitieve factuur indienen.

De opdracht dient binnen 4 weken na opdrachtverlening te zijn afgerond. Voorafgaand aan de definitieve rapportage dient eerst ter becommentariering en overleg binnen 3 weken een concept rapportage aan de projectleider te worden aangeleverd.

U doet de provincie schriftelijk in kennis stellen van wekzaamheden vóórdat zijn en de opdracht door u als vervuld wordt beschouwd. U kunt na afsluiting van de opdracht een effectieve indienen, hiervoor geeft u ook duidelijk aan dat het de opdracht betreft.

28

PDH-2012-30020071-04-10-001010



Bijlage B: Benodigde informatie, opgevraagd via de provincie Zuid-Holland

Benodigde informatie 'Calamiteit Geologgersysteem C2-deponie' ENS-werkgroep 'Calamiteit Geologger C2-deponie' 20 september 2012

Beantwoording vragen door C2 Rotterdam dd. 28 september 2012 in overleg met Progeo / EQC. Nadere toelichting en detailinformatie kan worden gegeven in gesprek met de ENS-werkgroep.

De volgende gegevens zijn benodigd om een beter oordeel te kunnen geven over het falen van sensoren van het Geologgersysteem op de C2-deponie:

CONCEPTUEEL MODEL

1. Een heldere 3-D tekening van hoe de constructie met o.a. carbonbanden ter plaatse van de meetpunten van het Geologgersysteem bij de C2-deponie in elkaar zit. De tekening moet een beeld geven hoe de verschillende elementen van het meetsysteem (o.a. kabels, sensoren cq. knooppunten, 'carbonbanden') horizontaal en verticaal t.o.v. elkaar liggen en t.o.v. steunlaag, trisoplast, folie, drainzandlaag en afdeklag. Ook dient er beschrijving van de bochten in de elektrodekabel te zijn (radius, positie koolstofelektrode t.o.v. bocht, etc.).

Een 3-D tekening is niet beschikbaar. De sensoren zijn onderdeel van de kabel(s).

De carbonlinten zijn in het geconditioneerde productieproces verbonden met de sensoren. Kabel en sensoren (met carbonlinten) van het actieve deel van het systeem worden bij aanleg als een geheel aangebracht, bij de C2 deponie direct op de folie van de combinatieafdichting (het passieve deel ligt onder de folie). Vervolgens is op de C2 deponie de drainagezandlaag aangebracht gevolgd door de afdeklag. Kabels, sensoren en carbonlint liggen in hetzelfde "horizontale" vlak (taludhelling bovenzijde deponie). De ligging van kabels en sensoren is aangegeven op de aanlegtekening. De plaats van de sensoren is met GPS ingemeten. Er is geen detailtekening van de bochten.

In het definitieve rapport Inspectie aanleg bovenafdichting, PZH / Haskoning 30 september 2011 is een foto opgenomen van de situatie bij aanleg (foto 17nov2010(16)).

2. Positie van de 'harde' punten, zoals buisdoorvoeren door en grindkoffers onder de afdichting t.b.v. gasontluchting en kabeldoorvoerbuizen, mede t.o.v. de kwetsbare punten van het Geologgersysteem? Er is sprake van dat ze in de nabijheid liggen van de locaties waar falen is opgetreden.

Er zijn geen harde punten in de directe omgeving van de sensoren. Graag vanuit ENS aangeven waarop de gedachte is gebaseerd dat dat wel het geval is.

3. Eventuele foto's, aanvullend t.o.v. die in de Grontmij-notitie van 22 maart 2012, van de waargenomen defecten, waarop de schade (afgescheurde / verbrande delen, etc.) te zien zijn.

Er zijn geen andere relevante foto's mbt het ongewone voorval dan die in de Grontmij rapportage.

DEPONIE- en STORTKARAKTERISTIEKEN EN ZETTINGEN

4. Jaartal van aanleg van de bovenafdichting. Wij beschikken over verschillende jaartallen.

Uit het onder 1 genoemde rapport blijkt de periode van aanleg van de bovenafdichting.

5. Indeling van de deponie. Is de deponie gecompartmenteerd d.m.v. (betonnen?) scheidingswanden? Tot welke hoogte reikten deze, tot aan de steunlaag? Graag afmetingen en afstanden, zo mogelijk in meters.

De indeling van de betonnen bak van de deponie blijkt o.a. uit bijlage 2 van het nazorgplan(juli 2012). In de betonnen bak is een scheidingswand aanwezig tussen de schachten A en B. De bovenkant van deze wand is gelijk aan de bovenkant van de zijwanden. De plaats van de scheidingswand blijkt uit de aanlegtekening Geologger. Alleen de sensoren 01/02 en 02/02 (in de notitie Grontmij 2 en 5 genoemd) liggen in de omgeving van de – dieper gelegen – scheidingswand. Uit de gemeten zettingsverschillen van de aangelegde bovenafdichting is de mogelijke invloed van de scheidingswand in de wand niet herkenbaar.

6. Gegevens over hoe en wanneer de aanleg van de bovenafdichting na het leggen van de folie verder plaatsgevonden heeft, zoals:

- Ontwerp: Op de folie eerst het Geologgersysteem. Daarna drainagelaag (0,30 m), Leeflaag (grond, 0,60 m) en Leeflaag (humusrijke grond, 0,30 m) aangebracht.
- Uitvoering: is uitvoering conform ontwerp? Hoe is de plaatszekerheid van het Geologgersysteem dat op de folie ligt gegarandeerd? Hoe is het verticaal omhoog lopen van de carbonband gegarandeerd?
- Hoe zijn de drainagelaag en leeflaag aangebracht? In ophoogslagen? En, is er verdichting van de opgebrachte lagen toegepast en zo ja hoe, met welk materieel?

De aanleg van de bovenafdichting is ruim gedocumenteerd, o.a. in het onder 1 genoemde inspectierapport. De uitvoering heeft plaatsgevonden conform ontwerp. In de aanlegfase is het actieve systeem plaatselijk "geforceerd" op de folie met zandzakken. De carbonlinten zijn handmatig uitgelegd, niet verticaal. De drainagelaag en bovenliggende afdeklagen zijn op de gebruikelijke wijze aangebracht. Voor details zie Keuringsrapportage bovenafdichting C2-deponie (Grontmij, juni 2011) en het onder 1 genoemde inspectierapport.

7. Gegevens over de stortopbouw (verdeling over de deponie van stortmateriaal en stortactiviteiten in de loop der tijd)

Detailgegevens over de vulperiode bevinden zich in het C2 projectdossier. In hoeverre deze informatie relevant is voor de adviesaanvraag bespreken wij graag in overleg met de ENS werkgroep. Vooralsnog zijn wij van mening dat de metingen van de zettingsverschillen na aanleg van de bovenafdichting in 2010 / 2011 voldoende zijn voor de adviesaanvraag.

8. Details over de vulhoogte. In Wikipedia staat vermeld 'In 2006 werd de overblijvende ruimte opgevuld met bodemas van afvalverbrandingsinstallaties'. Was de vulhoogte (in het midden, langs de lengte-as) beduidend hoger dan de

zijanten van de bak en was er sprake van taluds? M.a.w., is de bovenzijde toen (wanneer was dit?) horizontaal of onder een zeker talud afgewerkt?

Zie antwoord bij vraag 7. Verder kan worden verwezen naar het rapport C2-deponie, beoordeling toestand t/m aanbrengen eindafdekking (C2/Grontmij, december 2009) en het daarbij behorende ENBB advies nr. 17 november 2009.

9. Details over eventuele opvulling. Zijn bij het aanbrengen van de steunlaag nog veel onregelmatigheden in het bovenoppervlak van de bodemas opgevuld om een vlak geheel te krijgen? Is er toen, voorafgaand aan het aanbrengen, nog een uitvlakking van de bodemas uitgevoerd? Zijn er destijds hoogtemetingen uitgevoerd? Wanneer was dit?

Er is geen uitvlakking van de bodemas uitgevoerd. Uit de tekeningen blijkt dat het invullen heeft plaatsgevonden (in 2006) met bodemas dat vervolgens is afgedekt met grond en een tijdelijke kunststoffolie (2 mm HDPE). De definitieve bovenafdekking is in 2010 aangebracht op de tijdelijke afdekking. Voor verdere uitvoeringsdetails wordt verwezen naar de rapporten als genoemd in voorgaande punten. Vooralsnog zijn wij van mening dat voor het beantwoorden van de adviesaanvraag de zettingsverschillen NA aanleg van de definitieve afdekking van voldoende zijn.

10. Nadere uitleg over de verschilzetting. De zettingsgegevens zijn zeer beperkt, er is slechts een plot van de verschilzetting tussen 17-03-2011 en 22-02-2012. Gewenst is de uitleg over hoe dit beeld ontstaan is / gemaakt is, vooral de dichtheid van de hoogtemetingen (dichtheid van het netwerk van punten waar de hoogte gemeten is, en is dat ieder keer hetzelfde netwerk? Of is er per meting een (willekeurig) netwerk?).

De zettingsmetingen zijn handmatig uitgevoerd in hetzelfde grid, direct na afloop van de aanleg (maart 2011) en ca. 1 jaar later (2012, met nog een aansluitende verificatiemeting). Geen willekeurig netwerk dus, maar vergelijkbare punten. Er is gemeten in 30 raaien met totaal 500 - 600 meet punten en de resultaten zijn in Autocad geïnterpoleerd naar een regelmatig raster en visualisatie van de zettingsverschillen.

11. Gegevens uit eventuele periodieke hoogtemetingen van voor de aanleg van de bovenafdekking. Deze geven informatie over de eerder opgetreden zettingen.

Deze gegevens zijn opgenomen in het rapport genoemd onder vraag 8 (C2/Grontmij, december 2009).

12. Eventuele gegevens over de nog te verwachten zettingen, gebaseerd op de eerder opgetreden zettingen, voordat de bovenafdekking is aangelegd.

Idem als antwoord bij vraag 11

KARACTERISTIEKEN GEOLOGGER

13. Systeembeschrijving Geologgersysteem: technisch, met specificaties zoals met name voltage / stroom / gebruikspatroon (pulsen + interval, of continu, ...?) etc.

Het antwoord op deze vraag betreft product- en systeeminformatie. De informatie kan worden verstrekt na overleg met de ENS werkgroep en het ondertekenen van een non-disclosure agreement met Progeo.

14. Gedetailleerde opbouw elektrodekabel en (lieft) ook productiedetails

Idem als bij vraag 13

15. De visie van ProGEO op de vraag: 'Gezien het feit dat het systeem schijnbaar is blijven functioneren ondanks genoemde schades, wat is het effect van het afscheuren van de elektrodes op de functionaliteit?' Indien geen: 'Waarom zijn de elektrodes dan langer bij aanleg?'

Uit het opgetreden ongewone voorval bij enkele sensoren is gebleken dat de functionaliteit van het systeem, te weten het kunnen signaleren en localiseren van eventuele lekkage van de kunststoffolie, NIET in het geding is geweest. De "normale" lengte van de carbonlinten draagt bij een nauwkeuriger plaatsbepaling van een eventuele lekkage.

OVERIGE FACTOREN

16. Gegevens die bekend zijn over 'onverwachte factoren, zoals blikseminslag, konijnenvraat, aanlegfouten, etc.

Er zijn ons met betrekking tot het ongewone voorval geen onverwachte factoren bekend.

Bijlage C: laagsgewijze opbouw bovenafdichting

Beschikbare literatuur nr 121, C2-Deponie: Inspectie aanleg bovenafdichting, 30 september 2011, Definitief rapport, 9W2173.01, Royal Haskoning:

Uit paragraaf 2.6 Omschrijving van de aangelegde bovenafdichting

De aangelegde bovenafdichting bestaat uit de volgende laagsgewijze onderdelen (van onder naar boven):

De aangelegde bovenafdichting bestaat uit de volgende laagsgewijze onderdelen (van onder naar boven):

- Onderliggend afval met daarop tijdelijke afdichtingen in de vorm van zand-, slakken en (later doorgestoken) folielagen. Om het ophopen van mogelijk gevormd stortgas onder de bovenafdichting te voorkomen, is de tijdelijke folielaag voorafgaand aan het aanleggen van de bovenafdichting op vele plaatsen doorgestoken.
- Steun- en profileringslaag van zand, met daarin de passieve elektroden van het Geologger lekdetectiesysteem. Laagdikte variabel. De steun- en profileringslaag dient:
 - Om het gewenste dakprofiel te verkrijgen en te behouden en zo de afwatering in de eindsituatie (na zettingen) te garanderen;
 - Als klankbord voor de aanleg van de goed verdichte minerale afdichting. Een stevige steunlaag maakt het verdichten van bovenliggende lagen mogelijk, zonder dat het profiel wordt aangetast en zonder dat teveel verdichtingsenergie door een te zachte steunlaag wordt geabsorbeerd.
- Geotextiel ter versterking van de steunlaag en gehele afdichtingsconstructie.
- Minerale laag van Trisoplast, 7 cm dik. In eerste instantie is een proefvak aangelegd met 10 cm dikke Trisoplast. Het uiteindelijke werk is conform bestek van een 7 cm dikke laag voorzien. Extra Trisoplast is aangebracht rondom de aansluitingen op de pompschachten en op mogelijke zwakke plekken in de constructie (bijvoorbeeld doorvoeren).
- Folie, HDPE 2 mm dik, ruw (het gaat hierbij om geprofileerde folie, waarbij de ruwheid niet is opgespoten maar in de vorm van kleine nopjes tijdens het productieproces van de folie reeds is aangebracht) aan beide zijden. De folie is vastgelast aan de bestaande ruwe taludfolie rondom de C2-deponie. Ter plaatse van de pompschachten is de folie door middel van een schortconstructie en een metalen strip met bouten aan de schachten vastgemaakt.
- Actieve elektroden van het Geologger lekdetectiesysteem. Deze zijn vastgemaakt op de onderliggende tijdelijke folie en worden in de drainagelaag opgenomen.
- Drainagelaag van zand. Laagdikte 30 cm. De drainagelaag dient tevens als bescherming voor de folie en de Geologger elektroden.
- Grondlaag van 50 cm dikte. Deze grond is van elders aangevoerd en licht verdicht onder profiel op de afdichtende lagen aangebracht
- Toplaag, bestaande uit humeuze grond van minimaal 30 cm. Deze laag is na afloop van de constructiewerkzaamheden ingezaaid met gras.

Andere werkzaamheden die in het kader van de aanleg van de bovenafdichting hebben plaatsgevonden zijn onder andere het ophogen van de pompschachten, het vrijgraven en schoonmaken van de taludafdichting, het opbreken van de rails op de betonnen bakconstructie en het opnieuw aanleggen van persleidingen voor de afvoer van percolaat.

Bijlage 6: Uitkomsten beoordeling van het ENS-rapport

In deze bijlage zijn de uitkomsten van de beoordeling door de Advieskamer Stortbesluit van het ENS-rapport opgenomen, voor zover zij niet direct in het advies zijn verwerkt.

Samenvatting

- Hoewel gegevens beperkt beschikbaar en niet altijd verifieerbaar zijn, heeft ENS gemeend een zinvol advies uit te kunnen brengen. Dit wordt onderschreven.
- De lus waarin de carbonlinten zijn gelegd, kan ertoe geleid hebben dat de carbonlinten op de signaalkabel zijn gedrukt en daarbij zodanig zijn gebogen dat een deel van de koolstofvezels brak. Het is zeer wel denkbaar dat dit al gebeurd is door de impact van de zandzakken die zijn gebruikt om de signaalkabel voor aanbrengen van de drainage- en leeflaag op het folie te fixeren.

2 Uitgangspunten en overwegingen

- Onderschreven wordt dat bij gegevens die niet afkomstig zijn van een onafhankelijke bron en die niet verifieerbaar zijn, op principiële basis twijfel bestaat aan de betrouwbaarheid van deze gegevens. Daarbij dient wel opgemerkt te worden dat een deel van deze informatie direct uit de eerste hand en derhalve waardevol is. Dit moet goed doch kritisch afgewogen worden.

3 Geotechnische aspecten

- De bovenafdichting van de C2-deponie is aangelegd op een waarschijnlijk nog niet geheel gestabiliseerde ondergrond (vulling van de C2 met steunlaag). Het omschreven effect van grondbewegingen onder invloed van verdichting van de drainagelaag zal zeer waarschijnlijk opgetreden zijn, met als gevolg de omschreven rek van aangebracht materiaal. Dergelijke grondbewegingen zijn te voorzien en bij de toegepaste materialen (folie, kabels) dient hier rekening mee te worden gehouden.

Als de carbonlinten direct op de folie liggen (wat hier het geval was), zal de rek van de folie invloed kunnen hebben op de carbonlinten (de carbonlinten worden als het ware "meegerektd"). Het is dus (ook om deze reden) noodzakelijk om de carbonlinten niet op de folie aan te brengen.

Om problemen met zettingen te voorkomen, dient een zettingsanalyse vooraf en een zettingsrapportage achteraf gemaakt te worden op de locaties van de sensoren resp. koppelingen van het Geologgersysteem .

- In het specifieke geval van de C2-deponie was de toegestane rek van de folie maximaal 6 % en de rek van de carbonlinten > 10 % (volgens opgave Progeo zelfs 15 %, een rekvermogen dat kan worden bereikt door de wijze van weven van de carbonlinten). Bezwijken van de carbonlinten door overmatige rek kan dus worden uitgesloten.

Bezwijken van de carbonlinten door overmatige trek kan ook worden uitgesloten op basis van de grote treksterkte van de koolstofvezels, bovendien waren de koppelingen van de carbonlinten aan de signaalkabel intact.

- De koolstofvezels zijn wel kwetsbaar voor (te) scherp buigen en voor impact. Grondverschuivingen en het drukken van het carbonlint op / om de signaalkabel kunnen hiertoe leiden.

4 Elektrotechnische aspecten

- Tijdens het opgraven van de elektrodepunten hadden bij elk elektrodepunt sporen of delen van de carbonlinten aanwezig moeten zijn. Dit was echter niet het geval. Onderschreven wordt dat chemische degradatie van de carbonlinten danwel spoorloze verbranding / verplaatsing niet realistisch is en dat de sporen waarschijnlijk door het opgraafproces zijn verdwenen.

Gepleit wordt derhalve om in voorkomende gevallen dergelijke opgravingen te laten verrichten door deskundigen (bijv. archeologen) cq conform vaste procedures. Dit om enerzijds beschadigingen aan linten, verbindingen en zelfs folie te voorkomen en anderzijds meer onafhankelijke gegevens te verkrijgen.

- Onderschreven wordt dat de stroom op gelijkmatige wijze aan de grond moet worden afgegeven. Met carbonlinten (waarbij elektrische geleidbaarheid over de lengterichting veel groter is dan loodrecht erop) kan dit bereikt worden, eventueel kan dit middels coating van de vezels worden geoptimaliseerd. De methodiek voor berekeningen wordt eveneens onderschreven, doch er wordt opgemerkt dat de gebruikte parameters van 1 A en 12 Ohm per meter niet geverifieerd zijn. Deze parameters leiden (i.c.m. een bekende weerstand van koolstofvezels van 1,2 $\mu\text{Ohm m}$) tot een doorsnede van de carbonlinten van 0,1 mm², hetgeen niet realistisch is. Vermoedelijk is, op basis van een grotere doorsnede, de dissipatie van het carbonlint kleiner. Om dit vast te stellen zijn meer informatie / (meet)gegevens nodig .
- Onderschreven wordt dat door beschadiging (reductie van de doorsnede) van het carbonlint de stroomdichtheid in het resterende deel zal verhogen, dat het oppervlak dat de stroom afvoert zal halveren en dat daardoor de vermogensdichtheid met een factor 4 toe zal nemen met navenante temperatuurstijging als gevolg. Aangevuld wordt dat – door de eigenschappen van de koolstofvezel – deze stijging zich niet beperkt tot de breuklocatie in het carbonlint, maar zich uitbreidt door een veel groter stuk van het carbonlint, zowel voor als na de breuk. Dit wordt onderschreven door de aanwezige informatie en de eigenschappen van koolstofvezels (meer geleidbaarheid in langsrichting dan in dwarsrichting). Dit duidt erop dat de koolstofvezels in het lint gebroken zijn.
- De in par 4.4 genoemde “overige constatering bij het formuleren van faalmechanismen” worden onderschreven. Daarbij wordt bovendien opgemerkt dat ontvochtiging van het zand door een overbelaste kabel (“droogkoken” van de grond) geen realistisch scenario wordt geacht daar het incident plaatsvond in januari 2012, een bijzonder natte maand en dat er telkens maar laagfrequent en kortstondig gemeten wordt.

Evaluatie

- De samenvatting wordt onderschreven en aangevuld met het volgende:
 - Op basis van de metingen waren eerst slecht twee elektroden verdacht, bij de opgravingen bleek er schade te zijn bij drie van de vier koppelingen. Het risico op meer incidenten bij de overige koppelingen (lees: het gehele systeem) is dus erg groot.
 - De significante warmteontwikkeling bij een beschadigd carbonlint wordt onderschreven. Saillant is dat het juist de bijzondere geleidbare eigenschappen van koolstofvezels zijn die er voor zorgen dat enerzijds de gewenste geleiding van stroom voor het meetsysteem wordt bereikt maar anderzijds er voor zorgen dat grote delen van het lint heet worden indien een deel van de vezels is gebroken.

Hypothese voor faalmechanisme

- De meest waarschijnlijke redenen voor de beschadiging van het carbonlint lijken krachten op de koolstofvezels door te scherpe buiging onder gronddruk op de plek waar hij over de signaalkabel ligt. Dit kan bij het aanlegproces geweest zijn, mogelijk zelfs door de zandzakken die ter fixatie zijn aangebracht.
- De afwezigheid van (extreme) zettingen wijzen hier ook op. Zettingen leiden niet tot een scherpe buiging op de schaal die voor de breuk nodig zijn. Rek is evenzeer niet een realistische verklaring, daar juist koolstofvezels hier juist sterk in zijn.

Bijlage 7: Beantwoording vragen Klankbordgroep

Algemene beantwoording

In de navolgende hoofdstukken wordt ingegaan op die aspecten die door meer leden van de klankbordgroep naar voren zijn gebracht en die zich lenen voor een algemene beantwoording. Dit naast de beantwoording van de opmerkingen zoals die in de (nieuwe) rapportage de ENS werkgroep en in de notities van de individuele leden van de klankbordgroep zijn verwerkt.

In hoofdstuk 1 wordt eerst ingegaan op doel en resultaat in samenhang met de gekozen uitvoeringswijze van het advies. Het leek ons goed om op deze plaats het doel van de studie nogmaals naar voren te brengen. De invulling van de werkzaamheden en het behaalde resultaat heeft veel vragen bij de klankbordgroep opgeroepen. Deze hangen mogelijk sterk samen met het door de leden van de klankbordgroep verwachte beeld versus de door de ENS werkgroep aan werkzaamheden en resultaat gegeven invulling.

Ter verdere toelichting wordt vervolgens ingegaan op:

- het ontbreken van voor de buitenstaander nuttige informatie die het rapport leesbaar en begrijpelijk zou kunnen maken (hoofdstuk 2);
- de combinatie van twee achtereenvolgens behandelde elementen:
 - (het ontbreken van) essentiële gegevens en (het deels niet) aangaan van gesprekken, hoe daar (de redenen) mee is omgegaan en de consequenties daarvan in de zin van onzekerheid in de uitkomsten (hoofdstuk 3, paragraaf 3.1);
 - in het kader van de advies opdracht overwogen nut en noodzaak van verdergaand (algemeen) vervolg onderzoek aan het geologger systeem, in de vorm van een fase 2 of een apart vervolg onderzoek (hoofdstuk 3, paragraaf 3.2).

Deze 'Algemene beantwoording' sluit af met een overzicht van (thans, november 2013) geleverde documenten.

1. Doel en resultaat in samenhang met de uitvoering van het advies

O.i. is het goed om op deze plaats het doel van de studie naar voren te brengen.

Op de C2 locatie zijn actieve sensoren van het Geologger lekdetectiesysteem bezweken en hebben hierbij gaten gebrand in de HDPE-folie van de bovenafdichting van de stortlocatie. Volgens Progeo, de leverancier van het Geologger systeem, zijn onverwachte zettingen op de stortlocatie de oorzaak. Provincie Zuid-Holland heeft twijfels bij deze verklaring en met deze opdracht wordt verzocht tot een evaluatie van de oorzaak van het falen van de sensoren van het Geologger lekdetectiesysteem. Het beoogde onderzoek wordt uitgevoerd door de ENS-werkgroep en zal zijn gericht op de faalmechanismen die de schade aan het lekdetectiesysteem hebben kunnen veroorzaken.

In de studie is, uiteraard na bestudering van de gegevens, bevonden dat er geen aanwijzingen zijn voor onverwachte en vooral ongelijkmatige zettingen en is een hypothese opgesteld voor een mogelijk faalmechanisme. In de rapportage is dit, onderbouwd voorzover mogelijk, weergegeven.

Een gedetailleerde fact-finding of forensisch onderzoek naar de manier van aanleg maakte geen deel uit van de werkzaamheden.

Op basis van (beantwoorde) vragen van de ENS werkgroep (Bijlage B in het rapport) en op basis van de beschikbaar gestelde documentatie is de ENS werkgroep tot haar rapport gekomen.

2. Definities / tekeningen / foto's / constructiegegevens ontbreken

In het algemeen geven de bij de klankbordgroep betrokken personen aan dat definities en tekeningen van o.a. de situatie en de constructies zoals de laagopbouw van de bovenafdichting, het product Geologger, de gevolgde werkwijze, de volgorde van de werkzaamheden en of is gewerkt conform het ontwerp en voorschriften voor de ingezette materialen/constructies, eventuele afgewekingen, revisietekeningen, ontbreken. Dit klopt. We hebben destijds duidelijk gekozen voor een zakelijk rapport in de veronderstelling dat direct betrokkenen de situatie ter plaatse kenden en daarover geen verdere uitleg behoeften. Dit betreft zowel de geometrie als de gebruikte systemen. De betrokken partijen zijn in dit verband ProGeo, Provincie Zuid-Holland en de C2-deponie. O.i. was het ook niet de bedoeling het rapport onder anderen dan direct betrokken partijen te verspreiden. Als dit wel zo zou zijn geweest, als er sprake zou zijn geweest van een lezersgroep met belanghebbenden die niet bekend waren met o.a. de situatie en de constructies, zou er wel degelijk aandacht zijn geschonken aan meer illustrerend materiaal.

Dit alles wettigde o.i. het afzien van opname in de rapportage van tekeningen e.d. Thans direct zijn uitsluitend nog enkele documenten beschikbaar die destijds zijn gedestilleerd uit het gehele gegevensbestand en die zijn gehanteerd als werkdocumenten. Deze zijn los bijgevoegd. In Bijlage C van het nieuwe, aangevulde, rapport zijn gegevens m.b.t. de opbouw van de bovenafdichting opgenomen. Foto's van de schade zijn los bijgevoegd. Hoe b.v. het drainage zand is aangebracht, hoe de machines hierbij op (of niet op) de laag van 0,30 m hebben gestaan is nagelopen a.d.h.v. de beschikbare literatuur nr 121, C2-Deponie: inspectie aanleg bovenafdichting, 30 september 2011, Definitief rapport, 9W2173.01, Royal Haskoning.

3. Essentiële gegevens en nut en noodzaak van verdergaand onderzoek

3.1. Essentiële gegevens en aangaan van gesprekken

Over het wel of niet bestaan van essentiële gegevens of het in tegenspraak zijn van essentiële gegevens, over het wel of niet aangaan van gesprekken met Enviro advies om gegevens of (aanvullende) informatie te verkrijgen is destijds correspondentie over gevoerd m.b.t. het standpunt van de werkgroep ENS (deze email correspondentie is in het bezit van de Advieskamer). De werkgroep ENS stelde zich op het standpunt om het nader inwinnen of verkrijgen van informatie d.m.v. rechtstreekse contacten met belanghebbenden i.v.m. de gewenste onafhankelijkheid van het advies zoveel mogelijk achterwege te laten. Voorop stond de gedachte de zaak vanuit de eigen invalshoek te beschouwen.

De door Enviro advies gesuggereerde gespreksinhoud wees op het willen verstrekken van informatie naast de (op dat moment) beperkte informatie en het op een oorzaak gerichte standpunt van ProGeo. Daarbij sprak er vanuit betrokkenen de gedachte dat ENS mogelijk op het verkeerde spoor zou worden gezet door informatie vanuit ProGeo. Dit was echter niet het geval, ENS ging er vooralsnog niet a priori van uit dat zetting de oorzaak was van de calamiteit. Wel was er de wens te onderzoeken of zetting (meer specifiek: zettingsverschillen) onderdeel uit kon maken van de oorzaak van het probleem. Daarbij had de ENS-werkgroep een analyse gemaakt van de benodigde informatie (zie Bijlage B in het rapport). Hieruit is geconcludeerd dat het efficiënter zou zijn eerst additionele

informatie op te vragen voor bij elkaar te komen. Later bleken er ook meer gegevens (zie Beschikbare Literatuur in het rapport) te bestaan, ENS vond het niet meer dan redelijk deze eerst te bestuderen (ook vanwege onafhankelijkheid). Daarna kon altijd nog overwogen worden met betrokkenen te overleggen, maar dit bleek na uitvoering van de studie minder noodzakelijk. Dit alles heeft ook zonder het gesprek zijn resulterende vorm gekregen in het rapport.

Om meer gegevens over het geologger systeem te verkrijgen zijn onder de overeengekomen geheimhoudingsplicht telefoongesprekken met ProGeo gevoerd. Over het wel of niet uitvoeren van fase 2 is uitgebreid ingegaan in de antwoorden in de losse notities.

Daarbij was het wenselijk tegemoet te komen aan de gewenste planning van de prov. Zuid-Holland om z.s.m. een 1e concept-rapportage van Fase 1 toe te zenden.

3.2. Algemeen vervolg onderzoek aan geologger

Een aantal vragen, op zich terecht gesteld, gaat in op aspecten die o.i. te maken met (verder) onderzoek aan het geologger systeem. Er is gevraagd of door ons bepaalde TNO-rapporten m.b.t. gelijkwaardigheid, duurzaamheid en levensduur zijn ingezien. Eventuele antwoorden die zich daarvoor lenen zijn uiteraard in de rapportage opgenomen. Echter, naar ons idee speelde hier niet direct aspecten die met gelijkwaardigheid, duurzaamheid en levensduur te maken hadden. In die zin trek je als onderzoeker de grens in elke studie wat je nog meeneemt in je onderzoek, en wat niet. Redenen om zaken niet mee te nemen zijn altijd tijd, geld en/of niet beschikbaarheid van gegevens. Ook in de mate waarin het kritisch benaderen van alle verkregen informatie: hoor en wederhoor, contra-expertise en dergelijke toepasbaar zijn. Deze algemene redenen gelden ook voor onze studie. Het kan altijd beter als je meer tijd, geld en gegevens ter beschikking hebt; wij hebben een zo goed mogelijke inschatting gegeven binnen de beperkingen die wij hadden. Wij wijzen er op dat de Provincie Zuid-Holland akkoord is gegaan met onze offerte en daarin aangegeven aanpak, binnen de bovenstaande randvoorwaarden van tijd, geld en beschikbaarheid van gegevens. In het onderhavige EN-advies is echter geen budget geraamd en derhalve ook niet besteed aan het doen van wat ons betreft zo aan te duiden forensisch onderzoek. Dit was ook niet op voorhand te koppelen aan de advies vraag van PZH. U zult begrepen hebben dat er nog een mogelijke fase 2 was voorzien. De uitkomsten van fase 1 waren echter voor PZH op dat moment (nov. 2012), na nog een telefonsceh toelichting voldoende aanleiding af te zien van fase 2. Ofschoon er op voorhand sprake was een inhoudsopgave voor fase 2, had deze wellicht, a.d.h.v. de bevindingen van fase 1 bijgesteld kunnen worden, b.v. meer in de zin van genoemde hoor en wederhoor, contra-expertise en dergelijke

Verder onderzoek aan het geologger systeem kan uiteraard meer aandacht schenken aan gelijkwaardigheid, duurzaamheid en levensduur, maar deze aspecten zijn door ons gezien de scope van het gevraagde advies buiten beschouwing gelaten. Hieronder vallen o.i. ook vergelijking met ontwerp en aanleg van Schoterog, Hollandse Brug Friese Pad en gebruik in andere landen, zelfs los van de geconstateerde problemen bij de C2-deponie.

De twee afwijkingen genoemd in paragraaf 3.4 van het advies zijn evident t.o.v. 'normaal'. Impliciet is verondersteld dat bij andere locaties wel 'normaal' is gewerkt en dat dus de twee afwijkingen en/of de eventueel na aanleg optredende vervormingen de dragers van de oorzaak zijn. Er zouden er nog meer kunnen zijn, die al of niet na vergelijkend onderzoek 'boven water' komen. Gelet op de adviesopdracht is deze weg niet verder bewandeld. Van belang voor PZH, als uitkomst van de advies

aanvraag, is echter dat inderdaad de oorzaak zoals geduid door ProGeo, nl. onverwachte zettingen, de oorzaak niet geweest is. Dat is hopen wij met dit advies wel duidelijk naar voren gekomen

4. Overzicht van geleverde documenten (november 2013)

Bijgaand de volgende documenten:

1. 1 ENS-Advies Calamiteit Geologger Fase 1_EINDCONCEPT-zoals aangeboden aan ZH - track changes verwerkt.doc (aanpassingen zijn niet meer zichtbaar)
1 ENS-Advies Calamiteit Geologger Fase 1_EINDCONCEPT-zoals aangeboden aan ZH - aangepast met track changes.doc (aanpassingen zijn nog zichtbaar)
2. 2 reactie concept-rapport NIBV-Mulleneers incl antw DPereboom - MHuibers.docx
3. 3 Reactie concept-rapport van VA - Jeanne Kok incl antw DPereboom - MHuibers.docx

De opmerkingen van de heer Boerboom in zijn mail en in het concept rapport zijn alle beantwoord in deze algemene beantwoording en in het nieuwe rapport (bovenstaand 1).

Opmerkingen van de heer Mulleneers in zijn notitie zijn verwerkt in deze algemene beantwoording, in de notitie (bovenstaand 2) en in het nieuwe rapport (bovenstaand 1).

Opmerkingen van mevrouw Kok in haar notitie zijn verwerkt in deze algemene beantwoording, in haar notitie (bovenstaand 3) en in het nieuwe rapport (bovenstaand 1).

Opmerkingen van IPO en de heer van Hoorn in/of bij het concept rapport zijn verwerkt in deze algemene beantwoording en in het nieuwe rapport (bovenstaand 1). Hierbij heeft het IPO - dhr. Van Hoorn) een commentaar gegeven over '...feitelijk en objectief...'. De reactie hierop is gegeven in het NASCHRIFT in de (bijgewerkte) notitie van mevrouw Kok (bovenstaand 3).

November 2013,

Dr. ir. Martijn Huibers

DNV KEMA Energy & Sustainability

Arnhem

Ir. Dirk Pereboom

Deltares, Geo-engineering

Delft