

**TNO-rapport**

**TNO 2021 R10346 | 2.2**

**TKI2019-02-GE Natural Seals Research and  
Test Well - Openbaar eindrapport**

Datum	23 februari 2021
Auteur(s)	K. van der Valk, K. Castelein, H. Fischer A.N. Corina, B. Orlic, J. Wollenweber, E. Calignano
Aantal pagina's	10 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	TKI Nieuw Gas Topsector Energy, EBN, Shell, Total, Nouryon, ONE-Dyas, Neptune Energy
Projectnaam	Natural Seals Research and Test Well
Projectnummer	TKI2019-02-GE TNO 060.32502 Project period01/01/2019 – 01/04/2021Project coordinatorTNOProject partnersEBN, Shell, Total, Nouryon, ONE- Dyas, Neptune EnergyProject period01/01/2019 – 01/04/2021Project coordinatorTNOProject partnersEBN, Shell, Total, Nouryon, ONE- Dyas, Neptune EnergyProject period01/01/2019 – 01/04/2021Project coordinatorTNOProject partnersEBN, Shell, Total, Nouryon, ONE- Dyas, Neptune EnergyProject period01/01/2019 – 01/04/2021Project coordinatorTNOProject partnersEBN, Shell, Total, Nouryon, ONE- Dyas, Neptune Energy
Project period	01/01/2019 – 01/04/2021
Project coordinator	TNO
Project partners	EBN, Shell, Total, Nouryon, ONE-Dyas, Neptune Energy

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2021 TNO

Princetonlaan 6  
3584 CB Utrecht  
Postbus 80015  
3508 TA Utrecht

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

T +31 88 866 42 56

F +31 88 866 44 75

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Project informatie .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Openbaar eindrapport .....</b>	<b>4</b>
2.1	Introductie .....	4
2.2	Onderzoek scope.....	5
2.3	Methode .....	6
2.4	COVID-19 .....	7
2.5	Resultaten en conclusies.....	7
2.6	Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling (duurzame energiehuishouding, versterking van de kennispositie) .....	8
2.7	Follow-up, spin off binnen en buiten de sector .....	9

# 1 Project informatie

**Subsidiereferentie:** TKI2019-02-GE

**Topsector Energy, TKI Nieuw Gas:**

Program line Geo Energy – Research theme: Decommissioning and Abandonment

**Projectduur:**

1 januari 2020 – 1 april 2021

**Project partners:**

TNO (coordinator), EBN, Total, Shell, ONE-Dyas, Neptune, Nouryon

## 2 Openbaar eindrapport

### 2.1 Introductie

De ontmantelingskosten van bestaande en toekomstige putten worden geschat op enkele tientallen miljarden euro's wereldwijd en 3-4 miljard euro voor Nederland alleen al<sup>1</sup>. Cement is momenteel het materiaal bij uitstek voor het afdichten en verlaten (plug and abandon – P&A) van olie- en gasputten (O&G putten). Cement is echter onderhevig aan chemische reacties in aanwezigheid van zure formatievloeistoffen (bijvoorbeeld op basis van CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>S) en kan (te) broos zijn om mechanische en thermische belastingen te weerstaan zonder mechanische schade<sup>2</sup>. Daarom kan het afdichtend vermogen en de integriteit van putbarrière-elementen op basis van cement (pluggen en annulaire afdichtingen) worden belemmerd, vooral op de lange termijn<sup>2,3,4</sup>. Lekkende putten vormen een veiligheids- en milieurisico en vereisen ingrijpen tegen hoge kosten, daarnaast kunnen ze ook leiden tot een negatieve beeldvorming bij het publiek.

Duurzame en meer economische P&A-oplossingen voor annulaire afdichting en pluggen voor putten zouden een gunstige invloed hebben op de haalbaarheid en het economische concurrentievermogen van veelbelovende duurzame geo-energieopties, zoals geothermische energie of gasopslag. Het Masterplan Aardwarmte<sup>5</sup> schetst duidelijk de noodzaak van substantiële kostenreducties en tegelijkertijd verbetering van de putveiligheid.

Recent onderzoek gericht op veilige en duurzame P&A-opties identificeerde bentoniet als een veelbelovend natuurlijk materiaal voor afdichting van boorputten in diepe ondergrondse geo-energieoepassingen<sup>6,7</sup>. De algemene voordelen van het gebruik van natuurlijke materialen zoals bentoniet of steenzout ten opzichte van cement zijn hun afdichtingscapaciteit op lange termijn en chemische stabiliteit onder boorgatcondities<sup>8,9,10</sup>.

---

<sup>1</sup> Nexstep Re-use and decommissioning rapport, 2019 ([link](#))

<sup>2</sup> Bachu S and Bennion DB. Experimental assessment of brine and/or CO<sub>2</sub> leakage through well cement at reservoir conditions. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 2009; 3, 494-501.

<sup>3</sup> King G.E. and D.E. King, *Environmental risk arising from well-construction failure: Difference between barrier and well failure, and estimates of failure frequency across common well types, locations, and well age*. SPE 166142, 2013.

<sup>4</sup> Davies R.J., et al., *Oil and gas wells and their integrity: Implications for shale and unconventional resource exploitation*. *Marine and Petroleum Geology*, 2014. **56**: p. 239-254.

<sup>5</sup> EBN, DAGO, Platform Geothermie, (2018): Masterplan Aardwarmte Nederland

<sup>6</sup> C.J.K. Castelein, P. Hopmans, H. R. Fischer, J. Wollenweber (2019). Results of large-scale bentonite well sealing experiments. TKI Using Bentonites for zonal isolation and well abandonment, deliverable report D1.2 TNO 2019 R10813

<sup>7</sup> B. F. Towler, M. Firouzi, H.G. Holl, R. Gandhi, A. Thomas (2016). "Field trials of plugging oil and gas wells with hydrated bentonite," presented at the SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition, SPE-182199

<sup>8</sup> H. Fischer, B. Orlic, K. Geel, P. Pipilikaki, J. Wollenweber (2016) The phenomena of the ductile properties of shales and salts. TKI Plugging wells by enhanced formation ductility – Deliverable report D3.1 TNO 2016 R11749

<sup>9</sup> H. Fischer, B. Orlic, S. Osinga, P. Hopmans, J. Wollenweber, K. Geel (2016). Options to initiate and enhance ductile properties of shale for well bore sealing. TKI Plugging wells by enhanced formation ductility, deliverable report D5.1, TNO 2016 R10970

<sup>10</sup> Towler, B. F., Firouzi, M., Morteza-pour, A., Hywel-Evans, P.D. (2015): Plugging CSG Wells with Bentonite, Review and Preliminary lab Results, SPE 176987 (2015)

De toepassing van bentoniet vereist over het algemeen minder dure apparatuur voor het plaatsen van het materiaal en lagere kosten voor materiaal en monitoring<sup>11</sup>. Er bestaat echter nog geen speciale plugmethode voor diepe O&G putten die zwellen van bentoniet voorkomt voordat de afsluitdiepte wordt bereikt, wat als gevolg heeft dat de plug onvoldoende afdichtend vermogen heeft. Verificatie van de afdichtingsprestaties bij hoge drukken en hoge temperatuur, die relevant zijn voor de P&A van koolwaterstofputten (in NL), is vereist om vervolgens een veldproef mogelijk te maken. Er zijn laboratoriumtests uitgevoerd<sup>6,10</sup> maar opschaling van laboratoriumnaar veldschaal, wat testen onder in een boorgat vereist, is essentieel om de afdichtingsprestaties onder werkelijke omstandigheden en afmetingen onder in het boorgat te onderzoeken. Daarnaast zijn innovaties met betrekking tot plaatsing en verbeterde afdichtingsprestaties nodig.

Het onderzoeksthema *Decommissioning & Abandonment* van de TKI Nieuw Gas programmalijn Geo-Energie heeft tot doel de kosten van P&A-operaties te verlagen en tegelijkertijd de afdichtingsprestaties van putbarrières op lange termijn te garanderen zonder de putveiligheid in gevaar te brengen. Dit project vormt een elementair onderdeel van dit onderzoeksthema en zal een testlocatie in een boorgat bieden om kosteneffectieve en betrouwbare P&A-technologieën te ontwikkelen op basis van natuurlijke, ductiele materialen. In het vervolg zal naar het onderzoeksthema worden gerefereerd als programma.

## 2.2 Onderzoek scope

Eerdere studies binnen dit programma hebben gekeken naar de haalbaarheid van het afdichten van putten met bentoniet<sup>8</sup> en hebben kleinschalige<sup>12</sup> en grootschalige laboratoriumtests<sup>6</sup> uitgevoerd. Dit project beoogde kwalificatietesten van bentonietpluggen onder relevante P&A-omstandigheden onder in het boorgat uit te voeren. Dit is uitgevoerd op de nieuwe locatie, het Rijswijk Centrum voor Duurzame Geo-energie (RCSG) (het voormalige Shell Well Technology Research Center). Dit centrum is uitgerust met grootschalige testapparatuur (5-1/2" tot 13-3/8" casings, 6 m lengte) en een onderzoekspuit tot circa 350 m diepte inclusief een boorinstallatie. De testlocatie in Rijswijk biedt een unieke kans om nieuwe boorputafdichtingsmaterialen voor P&A, plaatsingsconcepten en monitoringtechnologieën te testen en te demonstreren.

De belangrijkste onderzoeksdoelstellingen van dit project zijn als volgt gedefinieerd:

1. Het onderzoeken van de afdichtingsprestaties en het kwalificeren van natuurlijke afdichtingsmaterialen als betrouwbare en kosteneffectieve P&A-opties voor putten die worden gebruikt in diepe ondergrondse geo-energietoepassingen (O&G, geothermie, CCUS, H<sub>2</sub>- of energieopslag etc.) in de onderzoekspuit in Rijswijk.
2. Het ontwikkelen en testen van verschillende methoden voor optimale plaatsingsprocedures van bentoniet in de verbuisde put, met als doel een geoptimaliseerde plaatsingsprocedure voor bentonietpluggen te ontwikkelen.

---

<sup>11</sup> P. Hopmans and J. Wollenweber (2018). Business case for using bentonite for O&G wellbore sealing. TKI Using bentonites for zonal isolation and well abandonment, deliverable report D3.1, TNO 2018 R11235

<sup>12</sup> Hopmans, H. Fischer, J. Wollenweber (2019). Results of small-scale bentonite well sealing experiments. TKI Using Bentonites for zonal isolation and well abandonment, deliverable report D1.1, TNO 2019 R10162

3. Een monitoringplan ontwikkelen om het afdichtingsproces in bentonietpluggen in het boorgat continu te monitoren.
4. Het uitvoeren van afdichtings- en mechanische integriteitstesten op bentonietpluggen in overeenstemming met standaard verificatiemethoden onder in het boorgat (bijv. druktesten, instroomtesten) en in overeenstemming met de Nederlandse Mijnbouwwet.
5. Faalwijzen van bentonietpluggen identificeren door de afdichting onder in het boorgat te monitoren, integriteitstests op de pluggen uit te voeren en bentonietmateriaal van de geteste pluggen te analyseren.
6. Het onderzoeken van de effecten van verschillende samenstellingen, mengverhoudingen en plaatsingsmethoden van bentoniet pluggen op de kwaliteit, afdichtingscapaciteit en mechanische sterkte van deze pluggen en het verifiëren van de prestatie van de plug onder in het boorgat.
7. Voorspellende numerieke modellen ontwikkelen voor het ontwerpen van bentonietpluggen, die worden gekalibreerd met veld- en laboratoriumresultaten.
8. Toewerken naar een ondergrondse natuurlijke afdichting veldtest in een bestaande put om de laatste kwalificatiestap (veldproef, TRL 6) in een vervolgproject te kunnen aanpakken.

### 2.3 Methode

Dit project was opgedeeld in drie fasen om ervoor te zorgen dat de meeste waarde wordt gecreëerd.

In de eerste fase worden speciale grootschalige experimenten uitgevoerd in het RCSG-laboratorium om de kritische aspecten van deze tests voor te bereiden en de risico's van de rig-tests te verminderen. De specifieke onderwerpen die in deze experimenten aan bod komen zijn:

- Het bepalen en optimaliseren van de plaatsingsverhouding tussen bentoniet en water;
- Het bepalen van de plaatsingsmethode en het genereren van referentiedruktestwaarden voor de afmetingen van de verbuizingen die in de boortest worden toegepast;
- Het uitvoeren van lekttesten met vloeistof (water) en gas (stikstof);
- Het testen van een verificatiemethode voor bentonietpluggen in het boorgat;
- Het uitbreken van verbuizingen met bentonietpluggen erin en het analyseren van gehydrateerde bentonietmonsters in het laboratorium;
- Het beoordelen van de invloed van het zoutgehalte van pekkel op de prestaties van de plug.

Op basis van de resultaten van de grootschalige tests wordt fase 2 gestart waarin rig tests worden ontworpen en uitgevoerd. Het doel van deze experimenten is om het effect van opschaling naar echte pluglengtes van 25 en 50 meter te beoordelen en de operationele procedures voor bentonietplaatsing te testen.

Ten slotte worden in fase drie de resultaten vertaald naar een analytisch en FEM-model om een meer gedetailleerde analyse van de resultaten mogelijk te maken en om experimentele bevindingen op te schalen naar echte putten en om de prestaties van pluggen te voorspellen onder verschillende omstandigheden die niet experimenteel zijn getest.

Alle experimenten worden uitgevoerd met Eijkelkamp QSE bentonietpellets en in zoet water tenzij anders gespecificeerd.

## 2.4 COVID-19

Tijdens de uitvoering werd dit project getroffen door de COVID-19 pandemie. Het resulteerde in vertragingen bij de rig-test, een meer gecompliceerde logistiek en uitvoering van de experimenten en het beperken van het aantal mensen dat aanwezig kon zijn in het RCSG-lab. Daarnaast moest de meeste communicatie online worden geregeld, zowel intern als in het consortium. Ondanks de complicaties slaagde het team erin de impact te beperken door een flexibele planning en een COVID-19-procedure voor het RCSG-lab te implementeren.

Het werk van Nouryon aan de HEN-01 zoutput heeft onder invloed van COVID-19 ook enige vertraging opgelopen waardoor een verlenging van het project noodzakelijk was.

## 2.5 Resultaten en conclusies

In de eerste fase is, als vervolg op eerdere afdichtingsproeven binnen dit programma, een reeks grootschalige labexperimenten opgezet. De belangrijkste focus van deze tests is om de risico's van de rig-tests te verminderen en om de impact van bepaalde parameters, zoals zoutgehalte op de afdichtingsprestaties van bentoniet, verder te onderzoeken. De belangrijkste bevindingen uit deze experimenten zijn dat 1) het mogelijk is om op pragmatische manier pluggen te maken, die voldoen aan de gewenste volumeverhouding van de componenten en dichtheidseisen, die kan worden toegepast voor de rig-test en waarschijnlijk in het veld; 2) de aanvankelijke verplaatsingsdruk en de bijbehorende initiële grensvlak afschuifsterkte worden verhoogd wanneer de pluggen onder druk of voor langere tijd kunnen uitharden; 3) een initiële afschuifsterkte van 10.000 N/m<sup>2</sup> is realistisch en 4) het creëren van een bentonietplug in (zout) kunstmatig zeewater resulteert in een (iets) verlaagde plugsterkte in vergelijking met zoet water. Deze resultaten zijn gebruikt om de rig-test te finetunen.

Het belangrijkste doel van dit project was om de capaciteit van bentonietpluggen op volledige schaal te testen, d.w.z. pluglengtes van ~25 en ~50 m in realistische afmetingen van verbuizingen, en om de afdichtingscapaciteit op realistische schaal te onderzoeken. Tijdens elke test hebben we het afdichtingsproces continu gemonitord en daarna de afdichtingsprestaties getest met standaard verificatiemethoden onder in het boorgat (bijv. druktesten, instroomtesten). Er zijn monsters genomen van de bentonietplug bij het terughalen van de plug naar het oppervlak om de homogeniteit, vloeï- en mechanische eigenschappen van de gevormde plug te analyseren om de afdichtingsprestaties te kunnen valideren. De belangrijkste bevinding is dat de pluggen van 25 en 50 meter zich gedroegen zoals verwacht en vergelijkbare afschuifsterkte hadden in vergelijking met de eerdere kleinschalige en grootschalige experimenten in dit programma. Zowel de experimenten met vloeistof (zoet water) als gas (stikstof) bevestigden een solide plug zonder enig teken van lekkage of voortijdige verplaatsing.

Uit de analytische beoordeling kan worden geconcludeerd dat, op basis van de experimentele resultaten, de afschuifsterkte een geschikte methode is voor een eerste analyse van de plugkwaliteit. Daarnaast maakt dit een vergelijking van de

plugcapaciteit tussen verschillende maten verbuizing, gebaseerd op pluglengte en verplaatsingsdruk, mogelijk voor dit type bentoniet in zoet water. Uit de gedetailleerde eindige-elementenmodellering kan worden geconcludeerd dat de afschuifsterkte afhankelijk is van (i) de effectieve normale spanning die inwerkt op het afschuifoppervlak en (ii) de weerstand tegen afschuiving. Geconcludeerd kan worden dat het eindige-elementenmodel, gecreëerd in dit project, de experimentele resultaten nauwkeurig kan nabootsen. Op basis van deze bevinding kan worden besloten om het model verder uit te breiden om het te kunnen gebruiken voor gedetailleerd ontwerp van bentonietpluggen en voorspelling van plugkwaliteit op basis van de veldomstandigheden.

Naast het werk op het gebied van bentoniet is er door Nouryon voorwerk gedaan voor een uniek experiment naar het natuurlijk vloeien van zoutlagen (salt creep) in een van hun zoutputten (HEN-01) en waarvoor een eerste studie was uitgevoerd in project TKI2018-09-GE. Het werk in dit project had als doel de integriteit en toegankelijkheid van de put waarin dit experiment plaats gaat vinden te bepalen. Op basis van alle bevindingen heeft dit geleid tot een eerste werkprogramma voor het experiment en welke zal worden uitgevoerd in het vervolgproject TKI2020-05-GE. Een samenvatting van de te nemen stappen in dit werkprogramma betreft:

- Verwijderen van de verstopping op 1131m MD om toegang tot de caverne te krijgen.
- Sonar- & afwijkingsmetingen in de bovenste caverne.
- 7 inch liner buis schrapen.
- USIT/CAST uitvoeren voor het gehele interval.
- Plaatsen van bridgeplug en isoleren van de bovenste caverne.
- Test van de integriteit van de casing.
- Een “window” maken in Salt IV (Aller Salt) 1043 – 1062m MD (zoals besproken met TNO & Partners in februari 2021).

## **2.6 Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling (duurzame energiehuishouding, versterking van de kennispositie)**

Het project draagt bij aan het leveren van unieke data en technologie om natuurlijke afdichtingsmaterialen te gebruiken om boorputten af te sluiten en te verlaten, wat een essentieel onderdeel is van de TKI Nieuw Gas-programmalijn voor Geo-energie. Daarnaast is het relevant voor zowel koolwaterstof- als duurzame geo-energie-operaties (zoals geothermie of gasopslag). Materialen die vergelijkbaar zijn met de samenstelling van de sluitlagen in de ondergrond, bijvoorbeeld op zout en/of klei gebaseerd, zouden een alternatief kunnen vormen voor cement. Deze materialen hebben enkele eigenschappen die erg gunstig zijn voor een permanente afsluiting, zoals een hele lage doorlatendheid en ductiliteit. Daarnaast zijn het natuurlijke materialen die al in de ondergrond voorkomen. Daarom vormt het kunnen gebruiken van een op klei gebaseerde plug (bentoniet) een veelbelovende optie om de toepassing van afdichting met natuurlijke materialen mogelijk te maken. Het project helpt om specifieke doelstellingen van het onderzoeksthema Ontmanteling en verlaten van de programmalijn te bereiken, met name:

- Minimaliseer de negatieve effecten van energiewinning op milieu en economie
- Hergebruik van bestaande infrastructuur en integratie met andere energieactiviteiten op de Noordzee.
- Ontwikkeling van duurzame en kostenefficiënte methoden en technieken met betrekking tot integriteits- en toestandmonitoring (pijpleidingen, putten,

- installaties); sluiting van putten, platforms en nuttig gebruik vinden (ontmanteling);
- Veiligheid, betrouwbaarheid en integriteit (offshore installaties en pijpleidingen). Het afsluiten van diepe putten met natuurlijke materialen is goedkoper en vereist aanzienlijk minder energie. Daarnaast is het principe veel duurzamer dan gebruik te maken van kunstmatige materialen, wat zowel de kosten van ontmanteling als de bijbehorende CO<sub>2</sub>-uitstoot zal verminderen. Methaanemissies uit verlaten boorgaten blijken een significante maar onderschatte bron van broeikasgasemissies te zijn. Methaan is een belangrijk broeikasgas en mogelijke lekkage ervan heeft een groot effect (> 20x CO<sub>2</sub>-effect). Een effectievere afdichting van boorgaten kan daardoor aanzienlijk bijdragen aan het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen en de bescherming van het milieu. Dit geldt ook voor eventuele lekkage van andere gassen en boorvloeistoffen, zoals bijvoorbeeld H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> of zout water.

Het herstellen van de aanvankelijke afdichtingslaag en het gebruik van natuurlijke afsluitmaterialen, zoals zout en klei, biedt een unieke combinatie van voordelen: de ecologische voetafdruk van winning en opslag van energie wordt geminimaliseerd terwijl tegelijkertijd de veiligheid op lange termijn wordt vergroot door het gebruik van bewezen natuurlijke duurzame materialen en dit tegen lagere kosten. De projectbevindingen dragen daarmee bij aan de roadmap van de programmalijn TKI Nieuw Gas Geo-energie en aan de overkoepelende doelstellingen van de subsidieregeling van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

De innovatieve aanpak die is ontwikkeld in dit project, en in ander gekoppeld onderzoek als onderdeel van het onderzoeksthema "Decommissioning and Abandonment", zal een uniek concurrentievoordeel opleveren van lagere afsluitkosten voor nationale operators en servicebedrijven. Daarnaast verlaagt het de kans op onvoorziene en dure toekomstige interventie-operaties, inclusief mogelijke negatieve gevolgen voor het milieu als gevolg van lekkage.

## 2.7 Follow-up, spin off binnen en buiten de sector

Gebaseerd op de resultaten van dit project en aanverwant werk in het programma over het natuurlijk afdichten van boorputten, zouden de volgende spin-offs kunnen worden gestart om de resterende uitdagingen aan te pakken. Beide vervolgprojecten zijn gericht op demonstratie van de afdichting technologie bij grootschalige en volledige tests, inclusief het gebruik van een echte, afgesloten gasput.

- Toegekend project: TKI 2020 Natural Sealing large-scale implementation (TKI2020-05-GE Natural Seals)
- Onderzoeksvorstel: Field Pilot P&A Using Bentonite, najaar 2020 call for proposals op het onderzoeksgebied Geo Energie, TKI Nieuw Gas.

De goede vooruitgang bij de ontwikkeling van deze alternatieve afdichtingstechnologie leidde tot een uitbreiding van het consortium voor het onderzoeksthema *Decommissioning & Abandonment* met het toetreden van Wintershall voor het TKI 2020 project.

Aangezien het project eerder gericht was op technologie- en patentontwikkeling, zijn de resultaten in dit programma nog niet gepubliceerd in tijdschriften of conferenties.

Op dit moment wordt gewerkt aan een paper voor de ARMA conferentie op 17 en 18 juni 2021 dat publiek beschikbaar wordt (Corina et al., 2021)<sup>13</sup>.

Voor meer informatie over dit project kunt u contact opnemen met het secretariaat van TNO's onderzoeksgroep Applied Geosciences via [secretariaat-aarde@tno.nl](mailto:secretariaat-aarde@tno.nl).

*Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.*

---

<sup>13</sup> Corina, A.N., Wollenweber, J., Castelein, K., van der Valk, K., Fischer, H., Heerens, G-J., Moghadam, A., 2021 - *Application of Bentonite as an Alternative Sealing Material for Deep Hydrocarbon and Geothermal Wells*, submitted for presentation at 55th ARMA symposium.