

**TNO PUBLIEK**

Princetonlaan 6  
3584 CB Utrecht  
Postbus 80015  
3508 TA Utrecht

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

**Contact**  
[elisa.calignano@tno.nl](mailto:elisa.calignano@tno.nl)

**TNO-rapport****TNO 2022 R11693 | Eindrapport****TKI2020-05-GE Natural Sealing Large-Scale  
Implementation - Openbaar eindrapport**

|                 |                                                                                                                                                             |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Datum           | 2 februari 2023                                                                                                                                             |
| Auteur(s)       | E. Calignano (TNO)<br>K. van der Valk (TNO)<br>A.N. Corina (TNO)<br>H. Fischer (TNO)<br>J. ter Heege (TNO)<br>G.J. Heerens (TNO)<br>M. den Hartogh (Nobian) |
| Exemplaarnummer |                                                                                                                                                             |
| Oplage          |                                                                                                                                                             |
| Aantal pagina's | 13 (incl. bijlagen)                                                                                                                                         |
| Aantal bijlagen |                                                                                                                                                             |
| Opdrachtgever   | TKI Nieuw Gas Topsector Energy, EBN, Shell, TotalEnergies,<br>Nobian, ONE-Dyas, Neptune Energy, Wintershall                                                 |
| Projectnaam     | Natural Sealing Large-Scale Implementation                                                                                                                  |
| Projectnummer   | TKI2020-05-GE / TNO 060.39076                                                                                                                               |

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.

© 2022 TNO

**TNO PUBLIEK**

# Inhoudsopgave

|          |                                                                                                                                                             |          |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Project information .....</b>                                                                                                                            | <b>3</b> |
| <b>2</b> | <b>Publiek eindrapport .....</b>                                                                                                                            | <b>4</b> |
| 2.1      | Introductie .....                                                                                                                                           | 4        |
| 2.2      | Onderzoek scope.....                                                                                                                                        | 6        |
| 2.3      | Methode .....                                                                                                                                               | 7        |
| 2.4      | Resultaten en conclusies.....                                                                                                                               | 9        |
| 2.5      | Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling<br>(duurzame energiehuishouding, versterking van de kennispositie) ..... | 11       |
| 2.6      | Follow-up, spin off binnen en buiten de sector .....                                                                                                        | 12       |
| 2.7      | Acknowledgement .....                                                                                                                                       | 13       |

# 1 Project information

**Projectnumber & Subsiy reference:**

TKI2020-05-GE

This is a project from:

Topsector Energy - TKI Nieuw Gas - Program line: Geo Energy – Research theme:  
Decommissioning and Abandonment

**Project duration:**

1 June 2020 – 1 October 2022

**Coordinator and Project partners:**

TNO (penvoerder),  
EBN,  
Neptune Energy,  
Nobian,  
ONE-Dyas,  
Shell,  
Total Energies,  
Wintershall

## 2 Publiek 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>. Offshore alleen wordt rekening gehouden met 2.7 miljard euro in de periode 2021-2030<sup>2</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). In het algemeen wordt cement van de juiste kwaliteit en samenstelling beschouwd als geschikt materiaal om putten permanent te verlaten<sup>3</sup> en is mede daarom het referentie materiaal voor eventueel alternatieve materialen<sup>4</sup>. Echter, onder bepaalde omstandigheden kan cement onderhevig zijn aan chemische reacties in aanwezigheid van zure formatievloeistoffen (bijvoorbeeld op basis van CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>S) en kan daarbij (te) broos worden om mechanische en thermische belastingen te weerstaan zonder mechanische schade<sup>5</sup>. Hierdoor zou het afdichtend-vermogen en de integriteit van putbarrière-elementen op basis van cement (pluggen en annulaire afdichtingen) kunnen worden belemmerd, vooral op de lange termijn<sup>5,6,7,8</sup>. Eventuele toekomstige lekkage van afgesloten putten vormt een veiligheids- en milieurisico en vereist ingrijpen tegen hoge kosten, daarnaast kan dit ook leiden tot een negatieve beeldvorming bij het publiek. Op basis van metingen in 2019 lijkt dit niet grootschalig voor te komen in Nederland<sup>9</sup>.

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.

Recent onderzoek gericht op veilige en duurzame P&A-opties identificeerde bentoniet als een veelbelovend natuurlijk materiaal voor afdichting van boorputten in

---

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

<sup>2</sup> Nexstep *Re-use & Decommissioning report – On the road*, 2021 ([link](#))

<sup>3</sup> NOGEPA Industrie Standaard nr. 45 – Het buiten gebruik stellen van putten, sectie 4.3, 2019 ([link](#))

<sup>4</sup> Mijnbouwregeling, artikel 8.5.1.4 lid d. Geraadpleegd op 07-11-2022 ([link](#))

<sup>5</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; 494-501.

<sup>6</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>7</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>8</sup> E. van Oort, *Qualitative Risk Assessment of Long-Term Sealing Behavior of Materials and Interfaces in Boreholes KEM-18 – Final Report*, 2022

<sup>9</sup> Schout, G., Griffioen, J., Hassanizadeh, S.M., Cardon de Lichtbuer, G., Hartog, N., Occurrence and fate of methane leakage from cut and buried abandoned gas wells in the Netherlands, *Science of The Total Environment* (659), 2019, p. 773-782, DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.12.339](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.339).

diepe ondergrondse geo-energietoepassingen<sup>10,11,12</sup>. De algemene voordelen van het gebruik van natuurlijke materialen zoals bentoniet of steenzout ten opzichte van cement zijn de afdichtingscapaciteit op lange termijn, het plastische gedrag en bijbehorend herstellend vermogen en de chemische stabiliteit onder boorgatcondities<sup>13,14,15</sup>. Daarnaast zijn deze materialen vergelijkbaar met de samenstelling van de afsluitende lagen die aanwezig zijn in de ondergrond. Deze lagen hebben aangetoond olie en gas reservoirs af te sluiten op geologische tijdschalen (miljoenen jaren). Het plastisch (kruipende) gedrag dat natuurlijk aanwezig kan zijn in deze lagen kan een afsluiting vormen rondom een casing, bijvoorbeeld als cement afwezig is of beschadigd is geraakt. Daarnaast kan het helpen verdere schades te voorkomen of af te sluiten waardoor ze ook wel “zelf-helend” worden genoemd<sup>16</sup>. De mogelijk afsluitende effecten van zulke kruipende formaties is in enkele gevallen geobserveerd door middel van “cement bond logs”, waarbij het contact tussen het cement en het staal wordt gemeten, in bestaande putten<sup>17,18</sup>.

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>19</sup>. Er moet echter worden aangetoond dat bentoniet een competente afdichting kan creëren in een realistische vloeistof op grote diepte, relevant voor de P&A van koolwaterstofputten (in NL). Hiervoor zijn aanvullende testen vereist in het lab en in de testput van het Rijswijk Centre for Sustainable Geo-energy (RCSG) onderzoekscentrum.

Steenzout is de afsluitende laag voor een groot deel van de olie- en gasvelden on- en offshore in Nederland (Figuur 1). De mogelijkheid om door middel van natuurlijke steenzout kruip (annulaire) put barrières te creëren wordt al zeker sinds 2014

<sup>10</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>11</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>12</sup> K van der Valk, et. al., TKI Natural seals research and test well –D4.1 and D4.2 comb. report: “Full-scale and well testing of bentonite sealing properties for plugging O&G wells” and “Numerical modelling and predictions of bentonite plug performance under relevant conditions”, 2021

<sup>13</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>14</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>15</sup> Towler, B. F., Firouzi, M., Mortezaipoor, A., Hywel-Evans, P.D. (2015): *Plugging CSG Wells with Bentonite*, Review and Preliminary lab Results, SPE 176987 (2015)

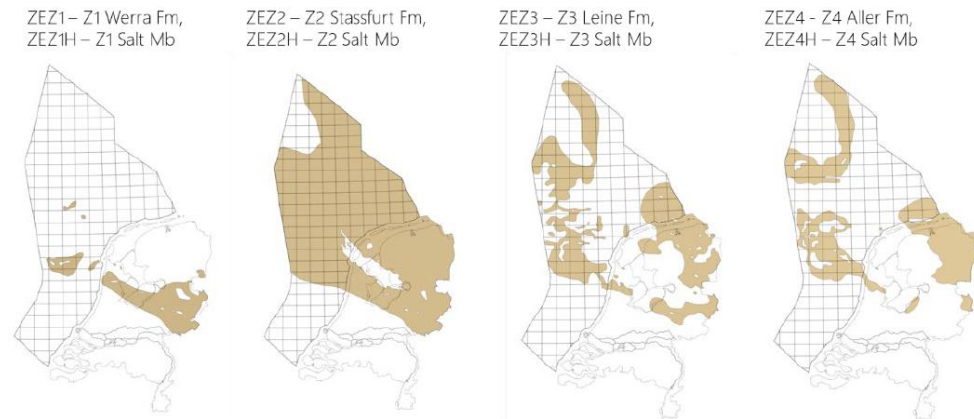
<sup>16</sup> Loizzo, M., Lecampion, B., mogilevskaya, S., *The role of geological barriers in achieving robust well integrity*, 13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-13, 2016

<sup>17</sup> Kristiansen, T. G., Dyngeland, T., Kinn, S., Flatebø, Aarseth, N.A., *Activating Shale to Form Well Barriers: Theory and Field Examples*, SPE-191607, 2018

<sup>18</sup> Williams, S., Carlsen, T., Constable, K., Guldahl, A., *Identification and Qualification of Shale Annular Barriers Using Wireline Logs During Plug and Abandonment Operations*, SPE/IADC 119321, 2009

<sup>19</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

gesuggereerd<sup>20</sup>. Specifieke experimenten zijn nodig om de belangrijkste factoren die resulteren in zoutkruip verder in kaart te brengen en de afdichtende capaciteit te meten.



Figuur 1 Geografische aanwezigheid van Z1-Z4 steenzout lagen in Nederland (www.nlog.nl)

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. Dit project vormde een elementair onderdeel van dit onderzoeksthema en heeft een testlocatie in een boorgat geboden om kosteneffectieve en betrouwbare P&A-technologieën te ontwikkelen op basis van natuurlijke, plastische materialen. In het vervolg zal naar het onderzoeksthema worden gerefereerd als programma.

## 2.2 Onderzoek scope

Binnen dit project zijn twee onderzoekslijnen gedefinieerd; deelproject 1 heeft het gedrag van bentoniet onder realistische plaatsing en condities onderzocht en deelproject 2 heeft gefocust op het kruipgedrag van zout, zowel in laboratorium- als in veldcondities.

### Deelproject 1 - Bentoniet

Eerdere studies binnen dit programma hebben gekeken naar de haalbaarheid van het afdichten van putten met bentoniet<sup>8</sup> en hebben kleinschalige<sup>21</sup> en grootschalige laboratoriumtests<sup>6</sup> uitgevoerd en experimenten op volledige schaal in een gecontroleerde omgeving<sup>11</sup>. Dit project beoogde kwalificatietesten van bentonietpluggen onder representatieve condities onder in het boorgat uit te voeren. Deze zijn uitgevoerd in het Rijswijk Centrum voor Duurzame Geo-energie (RCSG). Dit centrum is uitgerust met grootschalige testapparatuur (5-1/2" tot 13-3/8" verbuizingen van 6 m lengte) en een onderzoekspuut tot circa 350 m diepte inclusief een boorinstallatie. De testlocatie biedt een unieke kans om nieuwe materialen voor

<sup>20</sup> B. Orlic & L. Buijze, *Numerical modeling of wellbore closure by the creep of rock salt caprocks*. 48th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium held in Minneapolis, MN, USA, 1-4 June 2014. ARMA14-7499.

<sup>21</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**

P&A, plaatsingsconcepten en monitoringtechnologieën te testen en te demonstreren op ware schaal en onder representatieve condities.

De belangrijkste onderzoeksdoelstellingen van dit project zijn als volgt gedefinieerd:

1. Het definiëren van een werkbare vloeistof compositie met het oog op de afdichtingscapaciteit van bentoniet, met een focus op vloeistof type (aanwezige mineralen), zoutgehalte en pH.
2. Een geoptimaliseerde methode ontwikkelen voor het plaatsen van gecoate bentoniet pellets<sup>22</sup> in operationeel relevante condities.
3. Het genereren van testresultaten op volledige bentonietpluggen die zijn gecreëerd op een diepte van ongeveer 250 m in de put die gevuld is met een werkbare en realistische vloeistof (zie 1).
4. Het verder ontwikkelen van voorspellende numerieke modellen en het ontwerpen en verifiëren van bentonietpluggen met behulp van de behaalde veld- en laboratoriumresultaten.

#### Deelproject 2 - Steenzout

1. Het identificeren van methoden om zoutpluggen te creëren door middel van het stimuleren van zoutkruip onder putcondities (temperatuur en druk).
2. Het bepalen van de effecten van temperatuur, druk, annulaire vloeistof type en steenzout type op de te verwachten zoutkruip.
3. Experimenteel onderzoek naar de afdichtingscapaciteit van de met zoutkruip gegenereerde afdichtingen.
4. Werkelijk gemeten data over zoutkruip van zoutsteen op een diepte van ongeveer 1000 m.
5. Een gevalideerde analytische modelaanpak om het creëren van afsluitingen middels zoutkruip te kunnen voorspellen.

## **2.3 Methode**

#### Deelproject 1 - Bentoniet

Dit deel van het project was opgedeeld in twee fasen om ervoor te zorgen dat de meeste waarde kon worden gecreëerd.

In de eerste fase zijn speciale klein- en grootschalige experimenten (Figuur 2) uitgevoerd in het RCSG-laboratorium om het zwelgedrag van de bentoniet en het vertragend effect van de coatings in verschillende vloeistof condities gedetailleerder in kaart te brengen. Het doel was om op basis van de resultaten een werkbare vloeistofcompositie te kunnen selecteren voor het experiment in de testput en die ook gebruikt zou kunnen worden tijdens de veldtest in het vervolgproject. Daarnaast werd een methode ontwikkeld om de plugkwaliteit te kunnen valideren, die ook bruikbaar is in het veld. Deze is getest tijdens het experiment in de testput.

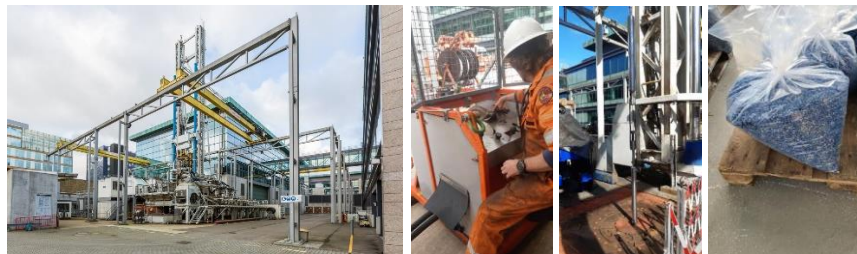
---

<sup>22</sup> De bentoniet korrels (pellets) worden gecoat om het natuurlijke zwelgedrag, dat kan optreden tijdens het plaatsen, te vertragen tot de pellets de gewenste diepte in de put bereiken.



Figuur 2 Impressie van klein- (links) en grootschalige experimenten (rechts) onder verschillende condities

Op basis van de resultaten in fase 1 werd het precieze experiment in de testput in RCSG (Figuur 3) ontworpen en voorbereid met als doel het plaatsen van een plug met gecoate bentoniet op ongeveer 250 m diepte (fase 2). De verbuizingen die gebruikt zijn, werden gevuld met een ontworpen vloeistof die volgde uit de resultaten van fase 1 en er is een hoeveelheid gecoate pellets verzorgd die benodigd was om een in totaal 25-50 m lange plug te kunnen maken. Er zijn aansluitingen verzorgd om de afdichtingscapaciteit van de gecreëerde plug met vloeistof en gas te kunnen onderzoeken. Het plaatsen van de pellets in deze put heeft de realiteit zo ver als mogelijk benaderd. Na de testen is de bentonietplug naar het oppervlak gehaald voor verder onderzoek en voor een additioneel experiment naar gasdichtheid in het lab.



Figuur 3 Impressie van de experimenten op volledige schaal in de testput

Deze resultaten zijn gebruikt om de geplande veldtest, onderdeel van een vervolgproject, verder te definiëren.

#### Deelproject 2 - Steenzout

In dit deelproject zijn twee onderdelen in parallel uitgevoerd.

Ten eerste is door Nobian onderzoek gedaan naar de natuurlijk optredende zoutkruip in de afgesloten zoutput Hengelo-01 (HEN-01). Hiervoor is het natuurlijk aanwezige steenzout achter de gecementeerde verbuizingen vrijgemaakt. Dit is gedaan met speciaal gereedschap dat over een lengte van ongeveer 5-10 meter het staal en cement weg heeft gefreesd. De natuurlijke zoutkruip die daardoor mogelijk werd in dit ontstane “window” is gemonitord, met als doel de natuurlijke snelheid van de zoutkruip van dit soort steenzout op deze diepte te kunnen meten. Hiervoor is sonar en een continue drukmeting gebruikt.

Ten tweede is in het TNO lab in Utrecht onderzoek gedaan op kernmateriaal van steenzout uit de kernopslag in Zeist (Figuur 4), met als doel om een representatieve geschaalde putopstelling te maken waarin druk en temperatuur condities kunnen worden gevarieerd. De experimentele resultaten hebben inzicht gegeven in de condities waarop zoutkruip optreedt en of er daarmee een afsluiting kan worden gecreëerd die drukdicht is.



Figuur 4 Kernmateriaal van verschillende putten

## 2.4 Resultaten en conclusies

### Deelproject 1 - Bentoniet

De belangrijkste bevindingen uit de experimenten van fase 1 zijn dat 1) de afdichtingscapaciteit van bentoniet in zoetwater met een hoge pH onder verhoogde temperatuur voldoende is om een goede afdichting te creëren, deze vloeistof is een realistische mogelijkheid voor gebruik bij het afsluiten van putten en geselecteerd voor de rest van het onderzoek in dit project; 2) de combinatie van een verhoogd zoutgehalte met een hoge temperatuur en hoge pH de afdichtingscapaciteit van bentoniet in sommige combinaties nog teveel negatief beïnvloeden; 3) een dubbele coating tot twee uur zwelvertraging oplevert in de geselecteerde vloeistofomgeving onder dynamische condities en 4) het mogelijk is om de kwaliteit van de plug te valideren middels het meten van de top van de plug en het nemen van een monster. Op basis van deze bevindingen is voor fase 2 gekozen voor zoet water met een verhoogde pH en bentoniet pellets met een dubbele coating.

Het belangrijkste doel van dit project was om de afdichtingscapaciteit van bentonietpluggen, geplaatst op ongeveer 250 m diepte op een operationeel werkbare manier met gecoate pellets in een met realistische vloeistof gevulde put, te onderzoeken. Uiteindelijk is een plug met een lengte van 39 m op een diepte van ongeveer 340 m geplaatst en getest. Tijdens elke test is het afdichtingsproces continu gemonitord en daarna de afdichtingsprestaties getest met standaard verificatiemethoden onder in het boorgat (bijv. druktesten, instroomtesten). Aanvullend is de gasdichtheid in het lab op hoger detailniveau onderzocht om omgevingsinvloeden (bijvoorbeeld wisselende omgevingstemperatuur en een groot druksysteem) zoveel mogelijk uit te sluiten. De belangrijkste bevinding is dat de pluggen van 26 en 39 meter lengte zich gedroegen zoals verwacht en een afschuifsterkte hadden die voldoet aan de eisen die vooraf door het projectconsortium waren gesteld. Zowel de experimenten met vloeistof (zoet water met verhoogde pH) als gas (stikstof) bevestigden een solide plug zonder enig teken van lekkage of voortijdige verplaatsing.

De experimentele resultaten bevestigen het vertrouwen in de afdichtingsmogelijkheden van bentonietpluggen in diepe putten verder.

#### Deelproject 2: Steenzout

Nobian heeft op 1000 m diepte het zout achter de verbuizing vrijgemaakt over een lengte van ongeveer 6 m in de afgesloten HEN-01 put. De natuurlijk optredende zoutkruip is zowel direct als indirect gemeten; de directe meting vond plaats middels twee sonar metingen die met hoge nauwkeurigheid de afmetingen van het gecreëerde “window” in kaart brengen. De indirecte meting is gedaan door het monitoren van de druk in de put met een drukmeter op de wellhead. Zoutkruip resulteert in een verkleining van het volume in het window wat resulteert in een kleine verhoging van de vloeistofdruk. Door middel van sonar is een volumeafname gemeten van 7 liter over een lengte van 3 meter. Deze volume afname valt binnen de tolerantie van het gereedschap en is daarom niet eenduidig. Daarnaast is een drukverandering van 100 mbar over een periode van 4 maanden gemeten. Deze drukverandering zou toegeschreven kunnen worden aan een wisselende temperatuur op het maaiveld en is daarom ook niet eenduidig.

Op basis van de gecombineerde data is voorlopig te concluderen dat de zoutkruip voor dit zout onder deze condities te langzaam of te weinig is om binnen enkele maanden te kunnen meten. Daarom is voorgesteld de periode waarover de zoutkruip wordt gemonitord te verlengen in een vervolgproject.

De belangrijkste conclusies van het werk aan het geschaalde putmodel in het lab (Figuur 5) zijn samen te vatten als:

- Er is een nieuwe experimentele opstelling gemaakt die zoutkruip van zoutmonsters onder relevante condities, druk, temperatuur en omgevingsdruk, kan meten, en die de eventuele afdichting rondom een verbuizing kan aantonen.
- Voor kernmateriaal van put Isidorushoeve-01 (ISH-01) is zoutkruip en drukdichte afdichting in het lab onder condities vergelijkbaar met 2,5 km diepte aangetoond.
- Een sterke afhankelijkheid van de temperatuur op de snelheid waarmee het zout kruipt werd geobserveerd. Daarnaast bleek de verhouding tussen de druk in de annulaire ruimte en de omgevingsdruk een belangrijke factor.



Figuur 5 Impressie van het geschaalde putmodel en de testopstelling gebruikt voor de experimenten in het lab

## 2.5 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 plastisch gedrag. Daarnaast zijn het natuurlijke materialen die al in de ondergrond voorkomen. Daarom vormen het kunnen gebruiken van een op klei gebaseerde plug (bentoniet) en kruip van de aanwezige steenzout veelbelovende opties 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 gaswinning 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 toestand monitoring (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. Methaan is een belangrijk broeikasgas (meer dan 20 keer het effect van CO<sub>2</sub>), waardoor eventuele methaanemissies uit verlaten boorgaten een reden tot zorg kunnen zijn. Een effectieve afdichting van boorgaten heeft daardoor een directe bijdrage aan het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen en de bescherming van het milieu. Het gebruik van natuurlijke materialen als alternatief voor of naast cement zou hier aan bij kunnen dragen.

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 de industrie 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.

## 2.6 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, zou de volgende spin-off kunnen worden gestart om de resterende uitdagingen aan te pakken. Dit vervolgetraject is gericht op demonstratie van de afdichting technologie bij grootschalige en volledige tests, inclusief het gebruik van een echte, afgesloten gasput.

- Toegekend project: TKI2021-06-GE Bentonite Field pilot.
- Onderzoeksvoorstel: Er wordt een onderzoeksvoorstel voorbereid om de resultaten binnen het programma verder naar daadwerkelijke toepassing te ontwikkelen.

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 dit project.

Aangezien het project eerder gericht was op technologie- en patentontwikkeling, zijn de resultaten in dit programma nog niet veelvuldig gepubliceerd in tijdschriften of conferenties. Een deel van de resultaten is gepubliceerd in het tijdschrift *Rock Mechanics and Rock Engineering* (Corina et al., 2022)<sup>23</sup>.

Daarnaast heeft het werk dat is uitgevoerd in de HEN-01 put door Nobian de aandacht getrokken van media en gepubliceerd in een lokale sectie van de Nederlandse krant [AD](#).

De resultaten van het programma en dit project zijn gepresenteerd aan Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) in juli 2021 en januari 2022.

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).

## 2.7 Acknowledgement

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

---

<sup>23</sup> Corina, A.N., Wollenweber, J., Fischer, H., van der Valk, K., Castelein, K., Moghadam, A., Heerens, G.-J. - *Evaluation of Bentonite Application for the Abandonment of Deep Geo-energy Wells*, *Rock Mech Rock Eng* (2022)