



Staatstoezicht op de Mijnen
Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

> Retouradres Postbus 24037 2490 AA Den Haag

Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.
t.a.v. de heer drs. J. Atema
Postbus 28000
9400 HH ASSEN

Tevens per e-mail: Johan.Atema@shell.com

Datum 21 juni 2021
Betreft Reactie op het onderzoek toedracht scheur put ROW-2

Geachte heer Atema,

Op 4 mei 2021 ontving Staatstoezicht op de Mijnen (verder: SodM) van de Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. (verder: NAM) de resultaten van het onderzoek naar de toedracht en consequenties van de scheur in de waterinjectieput Rossum-Weerselo 2 (verder: ROW-2) in de vorm van een rapport met nummer EP202104200659 (verder: het rapport). Dit rapport is door u op 18 mei 2021 mondeling toegelicht. Hiermee geeft de NAM invulling aan het verzoek van SodM van 22 maart 2021 om nader onderzoek te doen naar de oorzaak van de scheur in de buitenbuis, en of deze bevindingen tot nieuwe inzichten leiden voor de andere water injectieputten van het Rossum-Weerselo veld (verder: injectieput(ten)).

Hoofdconclusie

Het rapport is door SodM op volledigheid en inhoud beoordeeld. Ons oordeel is mede tot stand gekomen op basis van beoordeling van het rapport door een externe reviewer¹, die tot een vergelijkbaar oordeel komt.

SodM oordeelt als volgt:

1. De NAM heeft voldoende data verzameld uit waterinjectieput ROW-2 voor deze gesloten is, en de data is van voldoende kwaliteit om onderzoek te kunnen doen naar het incident.
2. De NAM heeft onvoldoende onderzoek gedaan om voldoende te begrijpen wat zich in de gesteentelagen rondom deze put heeft afgespeeld. SodM acht de NAM daarom op dit moment onvoldoende in staat om het risico op een dergelijke schade in de toekomst te voorkomen. Dit is met name een risico voor put ROW-7, die zich in de nabijheid van en in dezelfde gesteentelaag bevindt als ROW-2.
3. Het monitoringsprogramma van de NAM was niet in staat om de schade aan ROW-2 tijdig op te sporen.
4. De scheur in de buitenbuis van ROW-2 heeft niet tot acuut gevaarlijke situaties geleid

¹ Dhr. D.B. Moos, PhD., Onafhankelijk technolog/ Consultant, USA.
Het review rapport zal apart worden gepubliceerd.

Staatstoezicht op de Mijnen

Bezoekadres

Henri Faasdreef 312
2492 JP Den Haag

Postadres

Postbus 24037
2490 AA Den Haag

T 070 379 8400 (algemeen)
F 070 379 8455 (algemeen)

info@sodm.nl
www.sodm.nl

Behandeld door

T 070 379

Ons kenmerk

INS-7466 / 21153770

Uw kenmerk

EP202104200659

Bijlage(n)

4

Maatregelen die SodM verwacht van de NAMOns kenmerk
INS-7466 / 21153770

Gelet op de bevindingen, wil SodM van de NAM het volgende:

1. nader onderzoek naar hetgeen zich heeft afgespeeld in de diepe ondergrond bij ROW-2, waarna de NAM de resultaten hiervan binnen zes maanden na de verzenddatum van deze brief overlegt aan SodM. In het uit te voeren onderzoek dienen ten minste de onderwerpen en aanvullende vragen uit respectievelijk Bijlage 2 en 3 bij deze brief te worden behandeld en beantwoord;
2. direct stopt met injectie van productiewater via put ROW-7, totdat de NAM;
 - a) haar aanvullende onderzoeken naar de toedracht van het incident in ROW-2 heeft afgesloten, en deze door SodM beoordeeld zijn;
 - b) de staat van de binnen- en buitenbuis van ROW-7 in kaart heeft gebracht en SodM heeft overtuigd van de integriteit van deze put. De resultaten en de interpretatie hiervan dienen aan de IGM voorgelegd te worden zodra deze beschikbaar komen; en
 - c) haar monitoringsprogramma voor de waterinjectieputten aanscherpt, deze aanscherping verwerkt in het waterinjectiemanagementplan (hierna: WMP) en dit aangepaste WMP ter instemming voorlegt aan de vergunningverlener.
3. de resultaten van de analyse de consequenties van dit incident op het volledige, relevante putbestand, niet later dan 6 maanden na dagtekening van deze brief, ter controle aan de Inspecteur-generaal der Mijnen voorlegt. In deze analyse moet de NAM in ieder geval laten zien hoe zij met te lage annulaire drukken omgaat,
4. SodM hecht grote waarde aan het tijdig melden van incidenten. Daarom vraagt SodM de NAM om een analyse en de achterliggende gegevens van de annulaire drukken van alle Twentse injectieputten vanaf de start van de injectie. Deze analyse moet vergezeld gaan met een overzicht van alle meldingen aan SodM en werkzaamheden aan de annulaire ruimte van de betreffende putten

Verder kondigt SodM aan dat zij alle waterstromen van de NAM die de oliebehandelingsinstallatie (OBI) van het Schoonebeek olieveld verlaten onder verscherpt toezicht stelt.

SodM benadrukt dat er op dit moment geen aanwijzingen zijn dat zich acuut gevaarlijke situaties hebben voorgedaan bij put ROW-2, of dat deze dreigen plaats te vinden bij de overige injectieputten in het Rossum-Weerselo veld. SodM stelt vast dat het opgehaalde deel van de binnenbuis van ROW-2 en de gemeten drukken tonen dat deze binnenbuis nog intact was, waardoor er geen productiewater heeft kunnen lekken via de gescheurde buitenbuis. Wel is waarschijnlijk de vloeistof die tussen de binnen- en de buitenbuis zit, zogeheten annulusvloeistof, vanuit de scheur in de buitenbuis naar de diepe ondergrond gelekt. Omdat de breuk ter hoogte van een injectiereservoir was, is deze vloeistof daarin terecht gekomen. Dit is overigens niet het reservoir waarin put ROW-2 injecteerde, maar het reservoir waarin de naastgelegen put, ROW-7, productiewater injecteert. Verder heeft zich mogelijk aardgas uit dit reservoir in de annulaire ruimte opgehoopt.

Achtergrond van dit oordeel

Ons kenmerk
INS-7466 / 21153770

SodM concludeert in haar oordeel dat de NAM onvoldoende onderzoek heeft gedaan om te begrijpen wat zich in de diepe ondergrond heeft afgepeeld en dat haar monitoringsprogramma niet op orde was. Hieronder licht SodM het belang hiervan nader toe.

Omgaan met onzekerheden in de ondergrond

Directe observaties in de ondergrond zijn grotendeels niet mogelijk en zijn slechts zeer lokaal voorhanden, vaak in een put. Verder zijn voor gegevens uit de ondergrond vaak meerdere interpretaties mogelijk. Hierdoor zijn activiteiten in de diepe ondergrond met een zekere mate van onzekerheid omgeven. Door deze onzekerheden kunnen bij alle mijnbouwactiviteiten in de ondergrond onverwachte gebeurtenissen optreden. Dit kan positief zijn (een afsluitende laag blijkt beter in staat drukken te weerstaan dan verwacht voor het boren), maar ook negatief (bijvoorbeeld het optreden van een lekkage). Zowel de kans op een (ongewenste) gebeurtenis als het effect daarvan zijn moeilijk van tevoren vast te stellen. Van mijnbouwondernemingen in Nederland wordt verwacht dat zij alle mogelijke gebeurtenissen zo goed mogelijk in kaart brengen, begrijpen en ervoor zorgen dat de kans, en het effect van ongewenste gebeurtenissen tot een acceptabel niveau gereduceerd worden. SodM toetst en beoordeelt deze zogenaamde risico-inschatting. SodM heeft de risicoinschatting in het rapport van de NAM beoordeeld, en vindt dat de NAM onvoldoende onderzoek heeft gedaan om de onzekerheden over wat er in de diepe ondergrond heeft plaatsgevonden, voldoende te begrijpen.

Monitoringsverplichtingen van een operator ten aanzien van een put

Veel onderdelen die intensief gebruikt worden, slijten na verloop van tijd. Dit is voor onderdelen van putten niet anders en hierdoor kunnen deze na enige tijd falen. Het falen van een putonderdeel is zodoende niet onverwacht en ook niet per definitie erg. Uit voorzorg wordt gebruik gemaakt van een dubbele verbuizing (ook wel: een put met een dubbele barrière). Als door onvoorziene omstandigheden een barrière (buis) van de put faalt, is de tweede barrière daar om ongewenste effecten (zoals lekkage buiten het reservoir) te voorkomen.

Daarom zijn mijnbouwondernemingen verplicht om drukken voortdurend te monitoren in zowel de binnenbuis als de annulaire ruimte tussen de binnen- en buitenbuis. Het is belangrijk dat slijtage, corrosie of langzame deformatie tijdig opgemerkt en preventief opgelost wordt. Daartoe moeten regelmatig onderhouds- en inspectiemomenten door de NAM worden uitgevoerd. SodM heeft het monitoringsprogramma van de NAM onderzocht, en concludeert dat de NAM in augustus 2017 een drukval in de annulaire ruimte van ROW-2 heeft geregistreerd, maar dat de NAM hierop geen actie heeft ondernomen, noch de toezichthouder hierover heeft geïnformeerd terwijl een operator hiertoe wel een wettelijke meldplicht heeft.

SodM merkt verder op dat er tijdens een inspectie in september 2020 door SodM vragen zijn gesteld aan de NAM over het verloop van de annulaire druk in ROW-2 tussen 2017 en 2020. De NAM verwijst in voor de beantwoording van deze vragen naar het nog te sturen (voorlopig) onderzoeksrapport van het ROW-2 incident. Dit voorlopig onderzoeksrapport is op 4 maart 2021 met SodM gedeeld. Pas op dat moment informeert de NAM SodM over de drukval die al in 2017 is opgetreden.

Uitgebreid oordeel over het onderzoeksrapport van de NAM

Ons kenmerk
INS-7466 / 21153770

In deze brief leg ik uit hoe SodM tot haar oordeel is gekomen en welke consequenties SodM hieraan verbindt. SodM volgt in haar oordeel de drie hoofdvragen uit uw rapport:

1. Wat is er gebeurd?
2. Hoe heeft dit kunnen gebeuren?
3. Wat zijn de consequenties van wat er gebeurd is (inclusief eventuele effecten op het monitoren van de waterinjectieputten putten in het Rossum-Weerselo veld):
 - a. voor de put ROW-2; en
 - b. voor de overige injectieputten in het Rossum-Weerselo veld?

Deze brief heeft de volgende bijlagen:

1. Tijdslijn over ROW-2 van stilleggen injectie tot afsluiten van de put
2. Vraagstukken voor het aanvullend onderzoek
3. Aanvullende vragen
4. Verklarende woordenlijst

Aanleiding van het onderzoeksrapport

De directe aanleiding voor het onderzoeksrapport van de NAM is de scheur in de buitenbuis van injectieput ROW-2 in Twente, die wordt ontdekt tijdens onderhoudswerkzaamheden aan de bovengrondse installaties in februari 2021. Deze put ligt in Rossum (Twente) en is tot eind 2019 gebruikt voor het injecteren van productiewater afkomstig van de oliewinning bij Schoonebeek. De tijdslijn van activiteiten bij ROW-2 is in bijlage 1 bij deze brief weergegeven.

Wat is er gebeurd volgens de NAM?

Op 19 augustus 2017 was er tussen 22:00 en 24:00 een drukval in de annulaire ruimte van 5 bar naar 0 bar. De NAM geeft in haar rapport aan dat het, gezien het tijdstip, onwaarschijnlijk is dat deze drukval door menselijk toedoen heeft plaatsgevonden. Dit is een eerste indicatie dat er iets gebeurt in de diepe ondergrond bij ROW-2.

De NAM beschrijft in haar rapport twee mogelijke scenario's over wat zich in de diepe ondergrond heeft afgespeeld, te weten scenario A en scenario B. De NAM ziet scenario A als het meest waarschijnlijke scenario.

Het meest waarschijnlijke scenario volgens de NAM:

- In de diepe ondergrond zijn spanningen opgebouwd als gevolg van natuurlijke zoutbeweging. Deze spanningen zijn mogelijk verder opgelopen door eerst de gaswinning *uit* en nu de injectie *in* hetzelfde reservoir;
- Er bevindt zich een kleilaagje in de diepe ondergrond;
- Deze kleilaag is onder invloed van de spanningen gaan schuiven tegen de buitenbuis, die daardoor op die plek is begonnen te scheuren;
- Deze scheur heeft zich in augustus 2017 voor het eerst gemanifesteerd, door de drukval in de annulaire ruimte;

- Er is toen annulusvloeistof een injectiereservoir ingestroomd. Dit was niet het injectiereservoir voor de put ROW-2, maar het bovenste injectiereservoir voor de nabijgelegen put ROW-7 (ZEZ3C)².
- In de twee maanden direct na de drukval is de annulaire druk weer langzaam opgelopen tot 4 bar. In deze periode zijn er naast continue metingen van de annulaire druk ook handmatige metingen gedaan door operators op locatie. Er zijn in de systemen van de NAM geen aanwijzingen te vinden dat de stijging van de druk het gevolg is van menselijk ingrijpen. De NAM stelt in een mondelinge toelichting dat het intreden van aardgas uit het injectiereservoir ter hoogte van de scheur in de buitenbuis hiervoor verantwoordelijk is.

De NAM stelt dat, ongeacht het scenario, het dubbele barrière systeem van ROW-2 heeft gewerkt dat tot doel heeft om beschadigingen tijdig op te merken en op te lossen voordat er lekkage optreedt. De binnenbuis was immers nog intact, en er is geen injectievloeistof de ondergrond in gelekt. Er is weliswaar annulaire vloeistof gelekt, maar dat is in een reservoir terechtgekomen. De NAM is van mening dat het probleem tijdig gedetecteerd en opgelost is.

De NAM geeft in haar rapport aan dat haar monitoringsprogramma ontoereikend was en heeft om die reden het monitoringsprogramma begin 2020 aangepast door er jaarlijkse metingen van het annulaire vloeistofniveau in op te nemen. Ook werkt de NAM aan een update van het Waterinjectie Management Plan.

Oordeel van SodM:

SodM kan zich vinden in scenario A, echter sluit SodM niet uit dat ook het andere door de NAM opgestelde scenario (scenario B) oorzaak van de scheur kan zijn. Beide scenario's bevatten nog te veel onzekerheden om hier uitspraken over te kunnen doen. Ook de externe reviewer heeft aangegeven dat het onmogelijk is aan te geven wat het meest waarschijnlijke scenario is gegeven de beschikbare informatie.

Door NAM uitgewerkte, en volgens SodM ook mogelijke, scenario (scenario B)

- De druk onder in de annulaire ruimte van put ROW-2 is ongeveer 110 bar;
- De druk in het naastgelegen injectiereservoir van ROW-7 (ZEZ3C) is ongeveer 50 bar, de injectiedruk in de binnenbuis is nauwelijks hoger.
- De druk in de annulaire ruimte is dus ongeveer 60 bar hoger dan de druk in de binnenbuis.
- Door het drukverschil tussen de buitenbuis en de binnenbuis, gecombineerd met slijtage, ontstaat een beschadiging in de binnenbuis.
- Omdat de druk in de binnenbuis lager is, dan in de annulaire ruimte, lekt de annulaire vloeistof de binnenbuis in.
- Hierdoor komt de annulaire ruimte gedeeltelijk droog te staan en valt de tegendruk van de vloeistofkolom tussen de binnenbuis en de buitenbuis weg.
- De buitenbuis wordt hierdoor gevoeliger voor de aanwezige geologische spanningen, en scheurt uiteindelijk op de zwakste laag in het systeem; de eerdergenoemde kleilaag.

² Zie voor stratigraphische nomenclatuur: dinoloket.nl

- Door het binnentreden van aardgas via de scheur in de buitenbuis uit het naastgelegen injectiereservoir gaat de annulaire druk weer omhoog.

Oordeel over het monitoringsprogramma

SodM constateert dat het monitoringsprogramma van de NAM ontoereikend was om de drukval in de annulaire ruimte te constateren en de juiste opvolging te geven. Deze drukval was belangrijk, omdat dit het eerste signaal was dat er zich mogelijk een incident had voorgedaan in de diepe ondergrond. Deze drukval is destijds niet opgemerkt door de NAM, niet door hen onderzocht, en noch is hierover een melding bekend bij SodM, de Provincie Overijssel of EZK.

SodM stelt vast dat het in de vergunning opgenomen Waterinjectie Management Plan (WMP) voornamelijk gericht is op de mitigatie van te *hoge* annulaire drukken en niet op drukken die te *laag* zijn. De NAM blijkt slechts in een beperkt aantal putten in Nederland actief de minimale annulaire druk te monitoren. Onduidelijk is waarom dit niet bij alle relevante gevallen het geval is.

Oordeel SodM over dit deel van het rapport

SodM stelt vast dat er onduidelijkheid bestaat over het exacte verloop van de gebeurtenissen. Het exacte verloop is van belang omdat de oorzaak van en het vervolg op beide scenario's verschillend is. Daar waar in scenario A de ontstane scheur in grote mate het gevolg is van geologische krachten waarover de NAM geen controle heeft, kan in scenario B falend onderhoud en/of monitoring door de NAM een rol gespeeld hebben. Hiermee is het exacte verloop medebepalend voor de maatregelen die de NAM zal moeten treffen.

SodM deelt de conclusie dat het dubbele barrière systeem van de NAM heeft gewerkt niet. Er is weliswaar geen injectiewater gelekt uit de binnenbuis, maar dat is niet dankzij adequaat handelen van de NAM vanaf het moment van de drukval. SodM merkt verder op dat er wel 15m³ annulaire vloeistof is weggestroomd in het reservoir waarin put ROW-7 injecteert. Voor alle duidelijkheid: dit is niet het injectiereservoir waar put ROW-2 in injecteert. Voor SodM staat niet vast of de druk in de annulaire ruimte is toegenomen doordat er aardgas vanuit de breuk de buitenbuis in is gestroomd, of door menselijk handelen van de NAM.

Ondanks dat er op dit moment geen definitieve uitspraak over het meest waarschijnlijke scenario kan worden gedaan, staat voor SodM wel vast dat de put ROW-2 tussen augustus 2017 (het moment van de drukval) en december 2019 (het moment dat de injectie in put ROW-2 voor gepland onderhoud is stilgelegd) slechts één enkele verbuizing had en geen dubbele barrière. Het is niet te zeggen wat er gebeurd zou zijn als er geen gepland onderhoud zou zijn geweest in 2019, omdat onbekend is of de NAM het incident dan tijdig zou hebben opgemerkt.

SodM oordeelt dat het rapport op punten onvolledig is. Zo wordt uit het rapport van de NAM niet duidelijk hoe het kan dat de annulaire druk na het incident zonder menselijk ingrijpen is gestegen van 0 naar 4 bar. Het vaststellen van de exacte oorzaak hiervan is van belang. Als namelijk kan worden vastgesteld dat het oplopen van deze druk het gevolg is van menselijk handelen, dan heeft het

monitoringsprogramma van de NAM gefaald. Komt dit door het intreden van aardgas in de annulaire ruimte, dan is er óók een onwenselijke situatie ontstaan, met instroom van gas op een plek in de put waar dat niet hoort. Als dit tweede het geval is geweest, is deze situatie waarschijnlijk onbewust verholpen tijdens het stilleggen van ROW-2 eind 2019 en de daaropvolgende herstelwerkzaamheden.

In de documentatie die de NAM op 2 maart 2021 gedeeld heeft met SodM zit een 'ROW-2 well status diagram'. In dit diagram is sprake van zes interne vernauwingen in de binnenbuis van ROW-2. In het rapport bespreekt de NAM echter slechts twee beschadigingen. De NAM geeft alleen een verklaring voor de scheur en geen verklaring voor de andere beschadigingen. Ook de reviewer merkt dit op.

Hoe heeft dit kunnen gebeuren volgens de NAM?

In het rapport beschrijft de NAM wat naar haar inschatting de aanleiding is geweest voor de beweging op een mogelijke kleilaag en de uiteindelijke breuk van de buitenbuis. De NAM presenteert als belangrijkste oorzaak voor deze bewegingen opwaartse zoutbeweging onder het onderste injectiereservoir (ZE22C). Het is niet duidelijk of deze bewegingen op dit moment actief zijn of in het recente geologische verleden plaatsvonden. Dit heeft geleid tot plooiing van een gecombineerde reservoir laagpakket.³. Dit is een pakket bestaande uit lagen van verschillende gesteentes, zoals carbonaat, klei en een beperkte hoeveelheid haliet en anhydriet. Al deze gesteentes hebben verschillende fysieke eigenschappen.

Door deze plooiing zijn de verschillende gesteentelagen van het laagpakket over elkaar gaan glijden, vergelijkbaar met het over elkaar glijden van een dik pakket papier als dit gebogen wordt. Dit proces wordt in de vakliteratuur aangeduid met de term 'flexural-slip folding'. Dit over elkaar glijden gaat het makkelijkst over zachte, wrijvingsarme gesteentes. Hierdoor is de kleilaag gaan bewegen, die volgens de NAM de zwakste laag in het pakket is. Door het over elkaar glijden zijn er zodanige krachten op de buitenbuis van ROW-2 ontstaan, dat die uiteindelijk gescheurd is. Het horizontaal scheuren, zoals hier het geval is, wordt in de vakliteratuur vaak aangeduid met 'casing shear' ofwel 'shear'.

Hoewel het hoofdmechanisme van beweging volgens de NAM dus geologisch in oorsprong is, sluit de NAM niet uit dat de gasproductie in het verleden en/of de huidige waterinjectie via put ROW-7 hierin ook een rol hebben gespeeld. Dit zou kunnen door, respectievelijk, het (verder) veranderen van de spanningen in het reservoir als gevolg van depletie of het verder verlagen van de wrijving op de kleilaag, als gevolg van het nat worden ('wetten') van de kleilaag. De NAM geeft aan dat deze processen volgens haar slechts een beperkte bijdrage hebben gehad.

Een andere door de NAM onderzochte theorie is dat oplossing van grote hoeveelheden zout achter de buitenbuis bijgedragen zou kunnen hebben aan de

³ Bestaande uit de ZE23A, ZE23C, ZE23 klei, ZE22T, ZE22H, ZE22A, ZE22C en ZE21T

scheur. De NAM stelt dat er uit metingen van de cementkwaliteit⁴ geen aanwijzingen zijn voor holruimtes achter de buitenbuis. Hoewel de cementkwaliteit niet optimaal is, is over het gehele gemeten interval een "formatie signaal" zichtbaar. Dit betekent dat het zout direct tegen het cement aanstaat en er zich dus geen holruimte bevindt.

Ook gewichtstoename door waterinjectie in het laagpakket zou tot veranderende spanningen in het steenzout onder het laagpakket geleid kunnen hebben aldus de NAM. Veranderingen in de gewichtsverdeling zouden tot zoutbewegingen geleid kunnen hebben. Echter de hoeveelheid geïnjecteerd water wordt door de NAM als te klein ingeschat om te kunnen bijdragen, omdat deze slechts een fractie van het gewicht van de totale gesteentekolom is.

Ten slotte beschrijft de NAM het anhydriet dat onder invloed van water omgezet kan worden naar gips waardoor het gesteente opzwellt. Deze omzetting van anhydriet naar gips, als gevolg van water uit ROW-7, wordt door de NAM aan de hand van wetenschappelijke literatuur⁵ uitgesloten, met als hoofdreden de diepte beperking van dergelijke transitie van het aardoppervlakte tot ongeveer 450 m diepte.

Oordeel van SodM over dit deel van het rapport:

SodM stelt vast dat er ook in dit deel van het rapport veel onduidelijkheden en onzekerheden zitten. Ook de externe reviewer stelt dat er niet genoeg informatie is om de oorzaak onomstotelijk vast te stellen. Daarbij is voorts van belang dat de onderbouwing van de verschillende oorzaken vrijwel uitsluitend kwalitatief is zonder dat de conclusies op een gedegen manier kwantitatief worden onderbouwd. SodM constateert dat de NAM onvoldoende onderzoek heeft gedaan, of in ieder geval heeft gepresenteerd in het rapport, om de onzekerheid in de interpretatie te reduceren en de relatieve waarschijnlijkheid van de door haar geprefereerde oorzaak te onderbouwen.

De NAM maakt niet, via kwantitatieve argumenten, duidelijk welke krachten nodig zijn om een buitenbuis van deze sterkte horizontaal af te scheuren. Verder maakt de NAM niet duidelijk hoe groot de spanningen zijn die gegenereerd worden door de zoutbeweging en de bijdragende factoren. Door het ontbreken van een kwantitatieve onderbouwing is het onduidelijk of er voldoende verticale zoutbeweging is geweest om de significante horizontale verschuiving te verklaren. Ook is niet duidelijk of deze benodigde zoutbeweging past bij de gemeten bodembeweging in Twente.⁶

In de literatuur die wordt aangehaald door de NAM over de anhydriet/gips transitie, wordt de uitsluiting van de mogelijke bijdrage aan dit incident veel minder stellig beschreven dan de NAM in haar rapport doet. Er is een aantal uitzonderingen en bijdragende factoren waardoor deze transitie wel degelijk op grotere diepte kan plaats vinden. Een aantal van deze uitzonderingen zou van

⁴ Zogeheten Cement Bond Logs, of CBL-runs

⁵ De gebruikte bron uit het rapport:

https://www.researchgate.net/publication/280716005_Dissolution_and_conversions_of_gypsum_and_anhydrite

⁶ Zie meetregisters waterpassing en de interactieve bodemdalingskaart op NLOG.nl

toepassing kunnen zijn op de situatie bij ROW-2. Voorts is bijvoorbeeld niet alleen de diepte bepalend voor de transitie, maar de gecombineerde druk en temperatuur op een bepaalde diepte. Zowel de druk als temperatuur (in delen) van het laagpakket zijn door gasproductie en waterinjectie lager dan men op basis van de diepte zou verwachten. Omdat de mogelijke spanningen die optreden bij omzetting van anhydriet naar gips zijn niet gemodelleerd, kan deze oorzaak niet zonder meer worden uitgesloten.

Ons kenmerk
INS-7466 / 21153770

Tot slot ontbreekt nog een mogelijke oorzaak voor de scheur in de buitenbuis. In de literatuur⁷ wordt compactie als gevolg van productie van koolwaterstoffen uit reservoirs aangehaald als een vaak voorkomende oorzaak van casing shear. Dit scenario wordt door de NAM in haar rapport over ROW-2 niet uitgewerkt.

Door het ontbreken van kwantitatief onderzoek naar de bovenstaande punten is het niet mogelijk de relatieve bijdragen en het belang van de verschillende mogelijke mechanismen, zelfstandig dan wel ten opzichte van elkaar, te bepalen. Om deze reden kan SodM op dit moment niet uitsluiten dat genoemde oorzaken/mechanismen (mede) hebben geleid tot het ontstaan van de scheur.

Toelichting van de NAM over eventuele consequenties voor de overige waterinjectieputten in Twente:

Volgens de NAM is de integriteit van de overige waterinjectieputten in Twente op orde. De NAM heeft in het verleden geen afwijkende annulaire drukken in deze injectieputten waargenomen en ook heeft de NAM bij annulaire vloeistofmetingen in 2020 geen afwijkingen vastgesteld. Daarnaast heeft de NAM geen ernstige beschadigingen waargenomen in de binnen- en de buitenbuis van deze putten. De NAM baseert zich hierbij op jaarlijkse metingen van de binnenbuis met behulp van een zogeheten caliper, en op vijfjaarlijkse metingen van de buitenbuis. In ROW-7 is de binnenbuis te smal om de apparatuur door te laten, die nodig is om een caliper-meting van de buitenbuis te doen. Daarom heeft de NAM in 2015 en in 2020 een elektromagnetische meting uitgevoerd in plaats van een mechanische.

Omdat volgens de NAM de buitenbuis van ROW-2 op een onverwachte wijze gefaald heeft en er omstandigheden zijn bij put ROW-2 die uniek zijn voor deze put (het kleilaagje, en een diepe production packer), acht de NAM een vergelijkbaar incident in een van de andere ROW-putten onwaarschijnlijk. De NAM vindt het zodoende verantwoord om door te gaan met de waterinjectie in de overige ROW putten. Wel geeft de NAM aan dat het nodig is om het monitoringsprogramma voor de waterinjectieputten te verbeteren.

De NAM stelt de volgende acties voor om het monitoringsprogramma te verbeteren:

- De lage annulaire druk in ROW-2 had eerder gesignaleerd moeten worden. Nadat de NAM in 2020 ontdekte dat het vloeistofniveau in de annulus gedaald was, heeft de operator het monitoringsprogramma aangepast. Het vloeistofniveau in de annulus wordt voortaan jaarlijks door de NAM

⁷ *Dusseault, Maurice & Bruno, Michael & Barrera, John. (2001). Casing Shear: Causes, Cases, Cures. SPE Drilling & Completion 16. 98-107. 10.2118/72060-PA.*

gecontroleerd. Een update van het Waterinjectie Management Plan (WMP) op dit punt is in voorbereiding.

Ons kenmerk
INS-7466 / 21153770

- Naast de al voorgeschreven vijfjaarlijkse meting van de buitenbuis, overweegt de NAM de volgende, aanvullende metingen:
 - Een cement bond log of CBL van de buitenbuis voor ROW-4 en ROW-5.
 - Voor ROW-7 is dit moeilijk uitvoerbaar door een smalle binnenbuis; hier is de NAM voornemens een analyse uit te voeren op basis van de uitkomsten van de CBL voor ROW-4 en ROW-5 in relatie tot de CBL voor ROW-7 die is uitgevoerd toen de put werd aangelegd (1977).
 - Inspectie van de buitenbuis achter de binnenbuis; zowel onder als boven de packer om metaalverlies, vervormingen of scheuren tijdig vast te stellen.
 - Inspectie van de Zechstein-formatie achter de buitenbuis om de afwezigheid van holruimtes te bevestigen.

Voor de overige injectieputten in Nederland worden in het rapport geen conclusies getrokken, maar er is mondeling door de medewerkers van de NAM aan SodM aangegeven dat hier momenteel wel een analyse naar gedaan wordt.

Oordeel van SodM op dit onderdeel van het rapport:

De NAM noemt de aanwezigheid van het kleilaagje in de ROW-2 put als beslissende factor voor het scheuren van de buitenbuis. Dit kleilaagje is niet aangetroffen rondom de andere ROW-putten zodat volgens de NAM een dergelijk incident daar niet kan plaatsvinden. Echter, SodM constateert dat zich nog een aantal andere schades in de buitenbuis van ROW-2 bevindt, waarvan niet vaststaat waardoor ze veroorzaakt zijn, maar die *niet* lijken samen te vallen met een kleilaag. Zolang hier geen duidelijkheid over bestaat, kan niet met zekerheid gesteld worden dat de afwezigheid van het kleilaagje bij de andere ROW-putten voldoende argument is om te zeggen dat daar een dergelijk incident niet kan plaatsvinden zoals de NAM stelt. De NAM moet met kwantitatief onderzoek uitsluiten dat een buitenbuis op een andere, zwakke plek kan breken en mogelijk ook in het zout of hoger in de stratigrafie. SodM heeft enkele specifieke vragen over deze kleilaag (zie bijlage 3). Zolang de NAM niet kwantitatief heeft onderbouwd dat haar analyse correct is, is het dus ook niet vast te stellen of de kans op een dergelijk event in de overige putten te verwaarlozen is. SodM deelt zodoende de mening van de NAM niet dat de waterinjectie in de overige ROW-putten zonder meer verantwoord is, en wil dat de NAM nader onderzoek doet.

Het staat voor SodM vast dat het huidige monitoringsprogramma van de NAM ontoereikend is. Ook de externe reviewer stelt dat het van belang is afwijkingen tijdig op te merken en daarop te handelen. Het voorgestelde intensiveren van het monitoringsprogramma door de NAM, door onder meer meten van het annulus-vloeistofniveau en de opname hiervan in het WMP, vindt SodM noodzakelijk. SodM verwacht dat de NAM onderzoekt of er regelmatigere (elektronische) monitoring van dit vloeistofniveau mogelijk is. Volgens de externe reviewer is dit mogelijk.

Het huidige WMP schrijft voor dat de NAM de buitenbuis onder de packer eenmaal per vijf jaar moet inspecteren door middel van de calipermeting. SodM vraagt zich af of deze frequentie nog toereikend is, gezien het ROW-2 incident en verwacht dat de NAM dit meeneemt in de aanpassing van het WMP.

Hoe nu verder?

Ons kenmerk

INS-7466 / 21153770

SodM stelt vast dat er ondanks het rapport van de NAM nog veel onzekerheid is over de exacte toedracht en eventuele consequenties van het incident bij ROW-2. SodM wil daarom dat de NAM nader onderzoek doet. SodM verwacht van de NAM dat zij in dit onderzoek in ieder geval ingaat op de specifieke onderwerpen genoemd in Bijlage 2 en 3 bij deze brief. De definitieve versie van dit onderzoek dient niet later dan 6 maanden na dagtekening van deze brief aan de IGM overlegd te worden. Hierbij merkt SodM op dat zij de resultaten van dit vervolgonderzoek van belang acht voor de alternatieven-weging die op dit moment wordt gedaan voor het verwerken van productiewater in Twente. SodM zal daarom het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) adviseren de resultaten van dit vervolgonderzoek af te wachten alvorens een besluit te nemen over de wijze waarop productiewater het beste verwerkt kan worden.

SodM sluit niet uit dat op dit moment vergelijkbare krachten in de diepe ondergrond inwerken op ROW-7, aangezien deze injectieput zich in de nabijheid van ROW-2 bevindt. Daarnaast is het door de kleine binnenbuisdiameter op dit moment niet mogelijk om Cement Bond Logs (CBL) en caliper-metingen te verrichten op de buitenbuis onder de packer bij deze injectieput. SodM wil daarom dat de NAM de waterinjectie in ROW-7 per direct stillegt.

Deze stillegging zal tenminste duren totdat:

1. De NAM haar aanvullende onderzoeken naar de toedracht van het incident in ROW-2 heeft afgesloten, en deze door SodM beoordeeld zijn;
2. De NAM de staat van de binnen- en buitenbuis van ROW-7 in kaart heeft gebracht, en SodM heeft overtuigd van de integriteit van deze put. De resultaten en de interpretatie hiervan dienen aan de IGM voorgelegd te worden zodra deze beschikbaar komen.
3. De NAM haar monitoringsprogramma heeft aangepast, dit in een update van het WMP verwerkt heeft, en het bevoegd gezag met deze update van het WMP (als onderdeel van de vergunning) heeft ingestemd

In het rapport heeft de NAM enkel gekeken welke effecten het incident in ROW-2 op de overige actieve injectieputten in Twente heeft. Echter, het hebben van een goed monitoringsprogramma is van belang voor alle putten van de NAM in Nederland. De algemene richtlijnen voor putintegriteit binnen de NAM lijken op dit moment vooral gericht te zijn op het acteren en beheersen van putten waar de annulaire druk te hoog wordt. Alleen in het injectiecluster Borgsweer lijkt sprake te zijn van toezicht op de minimale annulaire druk. SodM wil daarom dat de NAM de annulaire drukken van haar volledige puttenbestand analyseert, specifiek met het oog op te lage annulaire drukken, en deze analyse niet later dan 6 maanden na dagtekening van deze brief, aan de Inspecteur-generaal der Mijnen voor legt.

Er bestaan wettelijke verplichtingen tot het melden van bijzondere voorvallen. SodM betreurt dat de drukval in 2017 niet gemeld is. Daarom vraagt SodM NAM om de annulaire drukmetingen (manueel en elektronisch) van alle waterinjectieputten in Twente (inclusief diegene die nu stilliggen) vanaf de start van de injectie tot nu te overleggen. Verder dient deze data vergezeld te zijn van een analyse, een overzicht van alle werkzaamheden en bijzondere situaties die invloed hebben op de annulaire drukken, en een overzicht van alle meldingen die naar aanleiding van deze data aan SodM gemaakt zijn.

Verscherpt toezicht

De gemeten drukdaling in de annulaire ruimte van de ROW-2 put had tijdig opgemerkt moeten zijn en direct moeten leiden tot een melding bij de toezichthouder en tot nader onderzoek naar de oorzaak. De NAM heeft dit nagelaten en daarmee het risico genomen dat er gevolgen zouden optreden die mogelijk groter waren – zij het nog steeds beperkt - dan de gevolgen die nu uit onderzoek zijn gebleken. SodM kwalificeert dit gedrag van de NAM als calculerend.

Gelet op het genoemde gedrag en de mogelijke gevolgen van het ROW-2 incident, in combinatie met de onzekerheden over de aanleiding van dit incident, en de gevolgen van waterinjectie in de diepe ondergrond en de lokale zorgen die er zijn voor deze manier van verwerken van productiewater, stelt SodM de NAM onder verscherpt toezicht ten aanzien van alle productiewaterstromen die voortkomen uit de stoominjectie in het Schoonebeek-olieveld⁸. Het verscherpte toezicht duurt tenminste totdat SodM overtuigd is dat de NAM de risico's van waterinjectie in de diepe ondergrond afdoende beheerst.

Ik hoop u voldoende geïnformeerd te hebben.

Hoogachtend,

ing. P.A.M. van den Bergen
directeur Toezicht Olie & Gas

⁸ gedefinieerd als "de waterstromen die de oliebehandelingsinstallatie, OBI, verlaten

Bijlage 1: Tijdslijn ROW-2 sinds stillegging waterinjectie

- In Augustus 2019 heeft de NAM de injectie via ROW-2 stilgelegd voor geplande onderhoudswerkzaamheden aan de bovengrondse installaties.
- Naar aanleiding van onderzoeken die tijdens deze stillegging in de put zijn uitgevoerd, werd het volgende geconstateerd:
 1. Deformaties in de binnenbuis
 - Deze specifieke en andere deformaties van de binnenbuis zijn tussen 2017 en 2018 al door de NAM vastgesteld, maar zijn destijds niet gezien als reden om tot reparatie over te gaan.
 2. Vloeistofniveau in de annulaire ruimte bleek lager (op ~800 m diepte) te zijn dan door de NAM werd verwacht (ongeveer op maaiveld).
- In januari/februari 2019 formuleert de NAM de hypothese dat het lage vloeistofniveau het gevolg is van een beschadiging aan de binnenbuis, en besluit daarom de injectie in put ROW-2 niet meer op te starten tot de binnenbuis gerepareerd is.
- In april 2019 sluit de NAM ROW-2 met behulp van pluggen tijdelijk af.
- In september 2020 merkt een inspecteur van SodM op dat het patroon van annulaire drukken sinds de tweede helft van 2017 anders is dan daarvoor. Er is bijvoorbeeld minder effect te zien van het (tijdelijk) stoppen en starten van injectie, en de temperatuurschommelingen in de put, terwijl dat wel te verwachten zou zijn. De inspecteur vraagt de NAM informatie op te leveren over het verloop van de annulaire drukken vanaf 2017. Voor de beantwoording van deze vragen verwijst NAM naar het (voorlopige) onderzoeksrapport voor de scheur in de buitenbuis van ROW-2.
- Tot de herstelwerkzaamheden in 2021 ging de NAM uit van de hypothese van de beschadigde binnenbuis. Tijdens de werkzaamheden is de daadwerkelijke oorzaak vastgesteld; een horizontale breuk en verschuiving (een zogenaamde 'shear') van ~6cm in de buitenbuis, die ook de binnenbuis deformeerde. De NAM heeft vervolgens gecommuniceerd dat de binnenbuis intact was gebleven. De NAM heeft hierbij aan SodM laten weten zich te baseren op het feit dat tijdens het injecteren van productiewater geen afwijking is geconstateerd in de druk tussen de binnen- en buitenbuis. Ook laat het gedeelte van de binnenbuis dat is opgehaald geen aanwijzingen zien voor lekkage.
- De put werd door NAM als 'onherstelbaar' ingeschat. Op 12 maart heeft SodM goedkeuring verleend voor het veilig afsluiten van ROW-2. SodM heeft voor deze toestemming zeker gesteld had dat alle relevante metingen die redelijkerwijs te verkrijgen waren, uitgevoerd zijn.

Bijlage 2: specifieke onderwerpen voor aanvullend onderzoek:

SodM verwacht dat NAM verder onderzoek uitvoert om kwantitatief duidelijk te maken:

- 1) Wat voor (horizontale) spanningen en krachten er in de specifieke situatie van ROW-2 gemoeid zijn met de verschillende oorzaken die in deze brief genoemd zijn. Deze processen zijn:
 - a. Flexural-slip folding, veroorzaakt door verticale zoutbeweging in de ZEZ1H, zoals beschreven in het rapport.
 - b. De verandering in de schuifspanning in het ZEZ3C, als gevolg van de depletie in het reservoir, zoals beschreven in het rapport.
 - c. Het verlagen van de wrijving, als gevolg van het 'wetten' van de kleilaag, zoals beschreven in het rapport.
 - d. De omzetting van anhydriet naar gips, als gevolg van waterinjectie in het ZEZ3C-reservoir in de put ROW7. Omdat SodM inziet dat dit mogelijk moeilijk te kwantificeren is, is hier ook aan omgekeerde redenering mogelijk: neem aan dat de omzetting van anhydriet naar gips zou nodig zijn om de put te laten shearen. Vervolgens kan bekeken worden of deze omzetting overeenkomt met de daadwerkelijke injectie-, en geologische parameters in ROW2 en 7.
 - e. Compactie, beschreven in de literatuur⁷.
- 2) Deze te vergelijken met de kracht die nodig is om een buitenbuis zoals geïnstalleerd in ROW-2 maar ook die in ROW-4, -5 en -7, horizontaal af te scheuren, en over grote oppervlakte een verschuiving van 6 cm te veroorzaken.
- 3) Hoeveel verticale zoutbeweging nodig is om een horizontale verschuiving van 6 cm door flexural-slip te veroorzaken. Hierbij dient rekening gehouden te worden dat de caliper meting op minstens 6 dieptes in de binnenbuis deformaties heeft, en het dus niet uit te sluiten is dat er flexural-slip op meerdere laagvlakken heeft plaatsgevonden, ondanks dat er slechts één kleilaag geïnterpreteerd is. Als er andere oorzaken voor deze vernauwingen aan te wijzen of uit te sluiten zijn, moeten deze gedeeld worden.
- 4) Wat voor uitwerking dergelijke verticale bewegingen op het aardoppervlak zouden hebben, en of deze passen binnen de waargenomen bodembewegingen.

Bijlage 3: specifieke vervolgvragen voor NAM voortkomend uit de ROW-2 rapport

Naar aanleiding van het feitenrelaas in het rapport:

- NAM beschrijft in haar rapport dat er in de binnenbuis twee restricties bekend zijn in het ZEZ3C reservoir interval. Uit voorgelegde documentatie in deze casus, gedeeld per email op 5 maart 2021, blijkt echter dat er in totaal 6 restricties (hold-up depths) in dit reservoir zijn. Kan de NAM uitleggen waarom de andere restricties niet in het rapport behandeld zijn?
- Zijn voor deze restricties oorzaken of aanwijzingen aan te wijzen waaruit zou blijken dat ze op een andere manier gevormd zouden zijn als door flexural-slip folding. SodM geeft aan dat het al-dan-niet aanwezig zijn van een kleilaag geen vereiste is voor het optreden van flexural-slip folding, of layer-parallel slip.
- NAM baseert de aanwezigheid van de kleilaag op een piek in de GR-log en beschrijvingen van gesteentefragmenten in de boorspoeling. In figuur 17 van het rapport van de NAM is deze GR piek duidelijk te zien. Echter, de elektrische weerstandsmeting geeft ook een hogere of gelijkwaardige weerstand aan dan die van de omgeving van de kleilaag. Kleilagen zijn door hun hoge waterfractie (zeker in het scenario waar de kleilaag natgemaakt is door water uit ROW-7) vaak meer geleidend dan andere lagen. Kan de NAM dit verklaren?

Naar aanleiding van het oplopen van de annulaire druk van 0 naar 4 bar, na het wegvallen van deze druk in augustus 2017:

- Welke mogelijke verklaringen zijn er voor het teruglopen van de annulaire druk naar 4 bar?
- Is het voorstelbaar dat een operator na de drukval in augustus 2017, de put met stikstof bijvulde, zonder dit in de systemen aan te geven?
- Kan NAM de werkinstructie voor veldoperators "hoe te handelen in geval van te lage annulaire druk" overleggen?
- Kan de NAM de relevante logboeken uit de relevante periode overleggen?
- Als er inderdaad aardgas in de annulaire ruimte is getreden:
 1. Is de aanwezigheid van dit gas op enig punt vastgesteld?
 2. Is dit gas hier nog aanwezig? Zo niet: op welk moment en op welke manier is dat gas dan aan de annulaire ruimte onttrokken?
- Kan de NAM annulaire ruimtes op de aanwezigheid van aardgas controleren?

Naar aanleiding van de vloeistofniveaumeting in de annulaire ruimte, januari/februari 2020:

- Wat was de directe aanleiding voor het doen van deze meting?

Naar aanleiding van het aangepaste monitoringsprogramma:

- SodM merkt op dat uit het rapport niet duidelijk wordt wat de aanpassingen aan het monitoringsprogramma nu inhouden voor het meten van de annulaire druk. Wordt een (te) lage annulaire druk nu reden voor een systeemwaarschuwing, en welke vervolgstappen dit tot gevolg kan hebben. Kan NAM dit verduidelijken?

- Wat zijn de technische mogelijkheden voor het (semi)continu monitoren van het vloeistofniveau in de annulaire ruimte?
- Is, gegeven de afloop van dit incident, het eens per vijf jaar meten van de buitenbuis door middel van een caliper-meting onder de production packer nog toereikend?
- Kan de NAM een gedetailleerd overzicht geven van de technische mogelijkheden en (resolutie) begrenzingen van de verschillende logging tools die in het verleden uitgevoerd werden en in de toekomst uitgevoerd zullen worden ten behoeve van het controleren van de putintegriteit. Op deze manier kan SodM zich een beeld vormen van de voor- en nadelen van alle beschikbare methodes, en de betekenis van deze logs beter interpreteren.

Uit de Well Integrity Management System (WIMS) blijkt dat slechts voor een zeer beperkt aantal putten actief gemonitord wordt op het overtreden van een minimale annulaire druk. Kan NAM uitleggen waarom een dergelijk protocol nog niet bestond voor ROW-2 of alle andere (relevante) putten in Nederland met een lage druk?

Ons kenmerk

INS-7466 / 21153770

Bijlage 4: Verklarende woordenlijst

- **Annulaire ruimte:** de annulaire ruimte is de ruimte tussen de binnenbuis en de buitenbuis. Deze staat onder normale omstandigheden vol vloeistof en is (in het geval van ROW-2) op druk gebracht kussen stikstofgas. Deze ruimte wordt continu gemonitord op drukveranderingen. Dergelijke drukschommelingen kunnen aanwijzing zijn voor een verbinding tussen binnen- en buitenbuis en kunnen een indicatie zijn voor het verlies van een barrière van een dubbelwandige put.
- **Barefoot completion:** een afwerking van het boorgat waar geen buis aanwezig is, maar de wand van het boorgat gevormd wordt door gesteente.
- **Caliper-log:** een mechanische meting, waarbij een sonde met een groot aantal uitstaande kleine vingers (als de ribben van een paraplu) in het boorgat worden afgelaten. Met deze wireline meting kan de interne diameter, eventuele putjes en dikteafname in de buis (van belang indicatie voor corrosie), en vormveranderingen (van belang voor het waarnemen van deformaties in de put) worden waargenomen.
- **Casing:** de buitenbuis
- **Casing shear:** het horizontaal scheuren (zonder significante horizontale bijdrage) van de buitenbuis.
- **Cement Bond log** of **CBL:** een akoestische meting, waarbij een aan een wireline afgelaten sonde doormiddel van geluidssignalen zowel de cementkwaliteit, als de binding van het cement met de buitenbuis en het gesteente meet.
- **Completion:** Dat gedeelte van de put, onder de packer dat in verbinding staat met het reservoir. Hier is slechts één enkel buis aanwezig en deze is vaak geperforeerd. Per definitie is de completion afgesloten van de annulaire ruimte en dat deel van de put dat dubbel bebuisd doormiddel van een packer.
- **Flexural-slip folding:** specifieke vorm van layer parallel slip, waarbij de bewegingen het gevolg zijn van het plooiën van het laagpakket.
- **GR-log** of **Gamma Ray log:** een meetinstrument op basis van het waarnemen van natuurlijke radioactiviteit van gesteentelagen, dat gebruikt kan worden (in combinatie met de gesteentefragmenten in boorspoeling en andere metingen, zoals weerstandmetingen) om verschillende gesteentes in de ondergrond te identificeren.
- **Layer parallel slip:** het over elkaar glijden van laagvlakken, als gevolg van geologische krachten.
- **Packer** of **production packer:** moet gezien worden als een soort van grote o-ring die de annulaire ruimte aan de onderzijde afsluit.
- **Reservoir:** meestal wordt in deze context met het reservoir een poreus gesteente bedoeld waaruit olie of gas gewonnen wordt. In de context van de Twente injectie putten is het een poreus gesteente waarin op dit moment water geïnjecteerd wordt. Deze wordt door een afsluitende laag gescheiden van de boven- en onder liggende lagen.
- **Tubing:** de binnenbuis of de opvoerserie of injectieserie