



Staatstoezicht op de Mijnen
Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

> Retouradres Postbus 24037 2490 AA Den Haag

De minister van Economische Zaken en Klimaat
Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Directie Energie en Omgeving
t.a.v. de heer [redacted]

per e-mail: [redacted]

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 8201

Datum 4 juli 2019

Betreft Advies wijziging opslagplan TAQA Gasopslag Bergermeer

Ons kenmerk

ADV-105 / 19123118

Uw kenmerk

181112

Bijlage(n)

3

Excellentie,

Op 30 oktober 2018 heeft u Staatstoezicht op de Mijnen (verder: SodM) gevraagd u te adviseren over het verzoek van TAQA Onshore B.V. (verder: TAQA) tot wijziging van het Opslagplan Ondergrondse Gasopslag Bergermeer. TAQA vraagt om verhoging van de bovengrens van de reservoirdruk tot maximaal 150 bar waardoor er meer gas in de ondergrondse gasopslag kan worden opgeslagen.

SodM heeft het plan getoetst op de volgende onderdelen:

1. planmatig gebruik en beheer van de ondergrond;
2. bodemdalingsvoorspellingen en maatregelen om schade te beperken;
3. risicoanalyse aardbevingen, met oog voor de veiligheid van omwonenden, en maatregelen om schade te beperken;
4. nadelige gevolgen voor het milieu.

SodM vindt dat de risico's van de gasopslag voor mens en milieu met het stellen van voorwaarden voldoende beperkt kunnen worden. SodM adviseert u dan ook om, wanneer u tot instemming met het opslagplan besluit, een aantal voorwaarden aan deze instemming te verbinden.

In bijlage 1 vindt u een toelichting op mijn beoordeling en de geadviseerde voorwaarden.

Ik ga ervan uit dat ik uw adviesvraag hiermee heb beantwoord. Vanzelfsprekend ben ik bereid dit advies nader toe te lichten.

Hoogachtend,

[redacted signature]

Inspecteur-generaal der Mijnen

Bijlage 1: Beoordeling aanvraag wijziging opslagplan Gasopslag Bergermeer van 30 oktober 2018

Adviesvraag

Om gas in de ondergrond te mogen opslaan en binnen een specifiek drukbereik te produceren, moet een onderneming een goedgekeurd opslagplan hebben. TAQA Onshore B.V. (hierna: TAQA) heeft een goedgekeurd opslagplan waar de minister van Economische Zaken (hierna: minister) op 27 april 2011 mee heeft ingestemd. Op 30 oktober 2018 heeft TAQA een wijziging van dit goedgekeurde opslagplan aangevraagd. TAQA vraagt om een verhoging van de maximaal toegestane gemiddelde reservoirdruk (hierna: bovengrens) van 133 bar naar 150 bar.

Om de gevraagde wijziging van TAQA te kunnen beoordelen, vraagt de minister advies aan een aantal adviseurs, waaronder SodM. SodM toetst het plan op de volgende onderdelen:

1. planmatig gebruik en beheer van de ondergrond;
2. bodemdalingsvoorspellingen en maatregelen om schade te beperken;
3. risicoanalyse aardbevingen, met oog voor de veiligheid van omwonenden, en maatregelen om schade te beperken;
4. nadelige gevolgen voor het milieu.

Deze toetsingsgronden zijn gebaseerd op artikel 39, eerste lid, onderdeel b van de Mijnbouwwet en op artikel 26 van het Mijnbouwbesluit. Daarbij spelen in de besluitvorming de weigeringsgronden uit artikel 36 van de Mijnbouwwet mee.

Achtergrond van de aanvraag tot wijziging opslagplan

TAQA heeft het Bergermeer gasveld sinds 1 april 2014 in gebruik als gasopslag (*referentie #1, brief met aanvraag*). In de periode tussen 1971 en 2006 is uit het Bergermeer gasveld gas gewonnen. Na het beëindigen van de winning is in voorbereiding op de gasopslag tussen 2010 en 2014 het reservoir met gas gevuld waardoor de gasdruk in het reservoir weer omhoog ging.

De huidige aanvraag tot verhoging van de bovengrens van 133 bar naar 150 bar is niet nieuw. Eerder is door TAQA ook de bovengrens van 150 bar beoogd.

Het huidige geldende opslagplan is door TAQA op 15 december 2008 ingediend. De minister heeft op 27 april 2011 ingestemd met het huidige opslagplan Bergermeer (kenmerk 11034058). Op basis van dit instemmingsbesluit mocht TAQA de gasopslag vullen tot een bovengrens van 133 bar. TAQA mocht de gasopslag vervolgens ook tot deze druk gebruiken. In de zomermaanden injecteert TAQA gas en vult daarmee de gasopslag. In de wintermaanden, bij extra behoefte aan gas, kan TAQA gas uit de gasopslag produceren.

De geologie van het Bergermeer gasveld

Het reservoir van de gasopslag bestaat uit zandstenen van de Rotliegend formatie met een dikte van zo'n 200 meter, gelegen op een diepte van 2000-2400 meter.

Het reservoir wordt langs de west- en oostkant begrensd door randbreuken (zie uitleg Box 1 met plaatje). Langs deze randbreuken zijn de gesteentelagen miljoenen jaren geleden naar het westen en oosten toe afgeschoven. Het blok waarin het reservoir zich bevindt vormt daarmee een relatief hoog gelegen breukblok. Dit blok is verder opgedeeld door een centrale breuk waardoor het reservoir feitelijk uit twee gedeeltelijk van elkaar gescheiden sub-blokken bestaat, blok-1 en blok-2.

In de huidige aanvraag is de geologische interpretatie van de structuur van de reservoirlagen op enkele punten gewijzigd. In het rapport *3D Geomechanical Model for Gas Storage Bergermeer (referentie #2, onderdeel van de aanvraag)* staat beschreven dat het blok-1 is opgedeeld in drie sub-blokken die met elkaar zijn verbonden. In mijn toetsing van de aanvraag volgens het Mijnbouwbesluit (artikel 26, onderdeel b) heeft SodM deze wijzigingen in de gegevens van de structuur van het gasreservoir meegenomen.

Eerder verzoek om verhoging van de gasdruk bovengrens

In het opslagplan van 2008 beschreef TAQA de verwachting om de bovengrens van de gasopslag uiteindelijk tot maximaal 205 bar te mogen verhogen. De toenmalige aanvraag met een verzoek voor een maximale gemiddelde reservoirdruk bovengrens van 150 bar werd door TAQA beschreven als een eerste fase, met mogelijke latere verhoging tot 205 bar.

De minister heeft in het instemmingsbesluit van 2011 (kenmerk 11034058; hierna: het besluit) op het huidige geldende opslagplan de voorwaarde opgenomen dat de gemiddelde reservoirdruk maximaal 133 bar mag bedragen. De minister heeft deze drukbegrenzing toen opgelegd om aan te sluiten op de onderbouwing voor de vergunningverlening in het kader van de Wet milieubeheer (tegenwoordig Omgevingsvergunning). SodM en TNO hadden in 2010 op basis van toenmalig inzicht wel positief geadviseerd^a op de bovengrens van 150 bar die in het opslagplan werd aangevraagd.

Advies over wijziging opslagplan is niet beperkt tot aanpassing drukbereik

In het onderstaande advies beoordeelt SodM de risico's door de aangevraagde drukverhoging. In deze beoordeling betreft SodM de meest recente inzichten over de risico's van ondergrondse gasopslagen. Daarbij geeft SodM ook aandacht aan afwegingen die relevant waren voor de minister bij de bovengenoemde besluiten of die relevant waren in afwegingen bij uitspraken door de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State (2 mei 2012 (kenmerk 201105967/1/R1)).

^a Advies SodM en TNO, 3 maart 2010, kenmerk 10036810, Herziening opslagplan Bergermeer; Aanvulling op advies van 19 maart 2009, kenmerk 9055611.

De huidige aanvraag heeft SodM opnieuw beoordeeld op alle onderdelen zoals beschreven in artikel 26 van het Mijnbouwbesluit. Naast de documenten die met de aanvraag door TAQA zijn meegeleverd heeft SodM ook andere relevante rapporten in de beoordeling meegenomen en naar huidig inzicht getoetst. Hieronder wordt een kort overzicht gegeven. Voor zover documenten niet publiekelijk beschikbaar zijn en ook anderszins niet gemakkelijk zijn te raadplegen, heeft SodM EZK gevraagd om die alsnog onderdeel van de aanvraag te maken. Referenties #3 en #4 zijn als bijlage bij deze brief gevoegd omdat deze documenten tijdens de beoordeling aan mij zijn toegestuurd.

Documenten relevant voor de beoordeling

Documenten door TAQA ingediend bij de huidige aanvraag:

- #1: Aanvraag met als bijlage 1 "Addendum 3D Geomechanical model for gas Storage Bergermeer for extension of the working pressure from 133 to 150 bar" en als bijlage 2 "QRA: Bergermeer puttenlocatie. Quantitatieve risicoanalyse".
- #2: Rapport *3D Geomechanical Model for Gas Storage Bergermeer*, Fenix Consulting Delft, maart 2018. Online: https://www.taqainnederland.nl/wp-content/uploads/2018/03/TEN_DM-191618-v1-3D_Geomechanical_Model_Gas_Storage_Bergermeer_77_-_133....pdf
- #3: Reactie op vragen van SodM n.a.v. het verzoek verhoging maximale druk in het Bergermeerveld van 133 naar 150 bar, TAQA, 10-3-2019, per email 10-04-2019.

Overige document als onderdeel van deze procedure:

- #4: Externe review van Rapport 3D Geomechanical Model for Gas Storage Bergermeer.
- #5: Vigerend opslagplan Bergermeer, 15 December 2008. Publiek via TNO NLOG site: <https://www.nlog.nl/nlog/requestDocument?id=734069768&type=fieldPubAsset>
- #6: Maandrapportages microseismische monitoring Bergermeer, april 2019, <https://www.taqainnederland.nl/wp-content/uploads/2019/05/Maandrapportage-april-2019.pdf>
- #7: Q-con GmbH, Induced Seismicity in the Bergermeer Field: Hypocenter Relocation and Interpretation, 15 January 2016. Zie: <https://www.taqainnederland.nl/downloads/>
- #8: Q-con GmbH, Induced Seismicity in the Bergermeer Field: WP -1 Quality Control. Zie: <https://www.taqainnederland.nl/downloads/>
- #9: Microseismische jaarverslagen Bergermeer, https://www.taqainnederland.nl/wp-content/uploads/2018/03/Jaarrapportage_2017_Microseismisch_Monitoren_2017.pdf

Overige relevante documenten:

- #10: DTN rapport Overview Zechstein lithology Bergermeer Field
- #11: UGS Subsurface Modelling Study, part 1: Geological modeling, Horzion Energy Partners, 2007 file: HEP_Bergermeer_report_v10_part1 & UGS Subsurface Modelling Study, part 2: Dynamic modeling, Horzion Energy Partners, 2007 file: HEP_Bergermeer_report_v10_part2
- #12: Bergermeer UGS Modelling study, Phase 2, HEP_Bergermeer_phase2_rpt_final
- #13: TAQA, "Rapportage geomechanisch gedrag van het reservoirgesteente en de omliggende gesteentelagen in overeenstemming met norm NEN-NE 1918-2 n.a.v. schrijven Ministerie van Economische zaken (kenmerk ET/EM/7087557)", versie 29-9-2008.doc.
- #14: Brief TAQA, 31 maart 2011, Plan van maatregelen tot voorkoming of beperking van bodembewegingen gebaseerd op microseismische monitoring bij de gasopslag in het Bergermeer veld; Online: <https://www.nlog.nl/geinduceerde-seismiciteit>.

- #15: TAQA Energy B.V., rapport ECM 187610, juli 2017, Bodembewegingsanalyse, -modelling en -prognose Winningsvergunning Bergen II, Opslagvergunning, Gasopslag Bergermeer en Alkmaar PGI; Online: <https://www.taqainnederland.nl/wp-content/uploads/2018/10/Bodembewegingsanalyse-Bergen-II-GSB-en-PGI.pdf>
- #16: Baker Hughes, Dynamic Geomechanical Modelling of the Bergermeer Underground Gas Storage, Netherlands, The effect of the 150 bar scenario on the fault slip, revision No. 2, 9 september 2015.
- #17: Waterinjectiemanagementprotocol voor waterinjectieput BGM-03B, 2016, doc. Nr. ECM #176074 v3.
- #18: Bergermeer Water Injectie Simulatie, Rapport voor TAQA Energy BV, Juli 2014.
- #19: Dynamic Geomechanical Modelling of the Bergermeer Underground Gas Storage, Netherlands. Quantitative Risk Assessment for Fault Slip Analysis Addendum to: The Effect of Water Injector for Well Location BGM-03B. 2013.
- #20: TNO-KNMI rapport, 2009, Kalibratiestudie schade door aardbevingen TNO-034-DTM-2009-04435, <https://www.nlog.nl/sites/default/files/tno-034dtm-2009-04435.zip>
- #21: TNO-KNMI rapport, 2011, Maximale schade door geïnduceerde aardbevingen: inventarisatie van studies met toepassingen op Bergermeer, https://www.nlog.nl/sites/default/files/max_schade_bergermeer_2011.pdf
- #22: TNO rapport, 2011, 3D Geomechanical Modelling of Fault Stability in the Bergermeer Field During Underground Gas Storage Operations, TNO-060-UT-2011-01388/C.
- #23: TNO rapport, 2009, Effects of differential pressures across the central Bergermeer fault, NO-034-UT-2009-00171/B.
- #24: TNO rapport, 2008, Bergermeer Seismicity Study, 2008-U-R0871/B.
- #25: MIT (MIT) opgestelde rapport 'Technical Review of Bergermeer Seismicity Study TNO Report 2008-U-R1071/B' van 8 oktober 2009.

1. Planmatig gebruik van de ondergrond

In deze paragraaf wordt getoetst of de voorgestelde gasopslag planmatig en efficiënt zal worden uitgevoerd.

De gevraagde verhoging van de bovengrens van de toegestane gemiddelde reservoirdruk van 133 bar naar 150 bar helpt TAQA om meer gas in het reservoir op te kunnen slaan. Het huidig geldende opslagplan uit 2008 beschrijft een werkvolume van 4 tot 6 miljard Nm³ dat jaarlijks geïnjecteerd en geproduceerd kan worden, afhankelijk van de drukbegrenzing (*referentie #5*). Door de begrenzing in het besluit (2011) van de maximaal gemiddelde reservoirdruk op 133 bar kon minder dan het maximale werkvolume worden geproduceerd. Het huidige werkvolume bedraagt 4,1 miljard Nm³. Met de aangevraagde verhoging naar 150 bar kan een werkvolume van zo'n 5,3 tot 5,5 miljard Nm³ gerealiseerd worden. In het onderstaande advies is voor de beoordeling van het seismisch risico en bodemdaling niet het werkvolume maar de drukbegrenzing van belang.

Het opslaan van gas bij de hogere gemiddelde reservoirdruk van 150 bar gebeurt met de bestaande putten en bovengrondse installaties, waarbij de productie- en injectiesnelheden bepaald worden door de huidige capaciteit van de putten. In het opslagplan (2008) werden een verwachting gegeven van de productie- en injectiesnelheden voor de nog te boren nieuwe putten. In de huidige aanvraag (*referentie #1*, bijlage 2) wordt toelichting gegeven op de 14 putten die in 2013 en 2014 zijn geboord en in gebruik zijn genomen^b voor de injectie in en productie uit de gasopslag. In de huidige aanvraag zijn de geactualiseerde productie- en injectiesnelheden per put beschreven. Voor put BGM-29 is de maximale snelheid 3,5 miljoen Nm³ per dag en voor alle overige putten 6 miljoen Nm³ per dag.

Tot 2014 werd voor het vullen van de gasopslag gebruik gemaakt van putten die ook bij de gaswinning tot 2006 waren gebruikt. Na ingebruikname van de nieuwe putten zijn zijn oude putten in 2015 ondergronds volledig afgesloten en is het putmateriaal bovengronds verwijderd tot een diepte van ten minste 3 meter onder het maaiveld. Sodm heeft toezicht gehouden op de uitvoering hiervan^c.

De totale snelheid blijft met de sinds 2014 in gebruik genomen putten onveranderd op een maximaal productievolume van 57 miljoen Nm³ per dag en op een maximaal injectievolume van 42 miljoen Nm³ per dag. Wel betekent de aangevraagde verhoging van de bovengrens in gasdruk in het reservoir naar 150 bar dat er extra werkgasvolume komt waardoor er op meer dagen per jaar zal kunnen worden geïnjecteerd en geproduceerd. In onderdeel 3 van dit advies over de risicoanalyse voor aardbevingen beoordeelt SodM de mogelijke invloed van de injectiesnelheid. SodM zal in dat onderdeel van dit advies toelichten waarom om de snelheid van de totale productie en injectie per dag begrensd moet worden op de huidige capaciteit van de installatie.

^b Informatie over putten op de TNO NLOG website:

<https://www.nlog.nl/nlog/requestData/nlogp/olgField/metaData.jsp?type=FIELD&id=BGM>

^c Toezicht overeenkomstig artikel 8.5.11 van de Mijnbouwregeling

<https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0014468&hoofdstuk=8&afdeling=8.5&z=2019-04-01&g=2019-04-01>

2. Bodemdalingsvoorspellingen en maatregelen om schade door bodemdaling te beperken

Door gas te winnen daalt de druk in het gesteente waarin het gas zit opgesloten. Dit zorgt ervoor dat het gesteente onder het gewicht van de bovenliggende gesteentelagen wordt samengedrukt. Dit wordt ook wel compactie van het gesteente genoemd. Bij gasinjectie wordt het gesteente weer een beetje uit elkaar geduwd. Dit proces van productie en injectie geeft een langzame bodembeweging (daling en stijging) aan het aardoppervlak, die geleidelijk door de tijd tot stand komt als een gelijkmatige kom met een doorsnede van meerdere kilometers.

Voor de beoordeling van het effect van de drukverhoging naar 150 bar op de langzame bodembeweging heeft SodM sectie 4 uit bijlage 1 van de aanvraag getoetst (*referentie #1*). Ook heeft SodM hoofdstuk 2 en bijlage 1 van het geomechanische rapport (*referentie #2*) beoordeeld waarin een samenvatting wordt gegeven van de gemeten bodemdalingskom en de continue monitoring op vier locaties. Bovendien heeft SodM een meer uitgebreid rapport (*referentie #15*) over bodembeweging gebruikt in de beoordeling; daarin staan analyses van de metingen, modellering en prognoses.

Op basis hiervan beoordeelt SodM of de risico's van de langzame bodembeweging realistisch zijn. Vervolgens beoordeelt SodM hoe de bodemdaling, die wordt verwacht bij de aangevraagde verhoging van het drukbereik naar maximaal 150 bar, zich verhoudt tot de bandbreedte van bodemdaling in het huidige opslagplan van 2008 (*referentie #5*). Tenslotte beoordeelt SodM of aanvullende maatregelen nodig zijn om eventuele schade te beperken.

Hoe wordt de bodemdaling gemeten?

Sinds 1972 is de bodemdaling in de omgeving van het gasveld Bergermeer iedere vijf jaar gemeten door middel van waterpasmetingen. De laatste drie meetmomenten dateren van 2006, 2011 en 2016. Bovendien wordt sinds 2013 de groundbeweging continu gemonitord met vier GPS stations.

Wat is de historische bodemdaling voordat de gasopslag gevuld werd?

In het opslagplan (2008) beschreef TAQA dat de gemeten bodemdaling boven het Bergermeer en de naastgelegen gasvelden Groet en Bergen maximaal 10,5 cm was in de periode vanaf het begin van de gaswinning in 1971 tot 2006. Dit diepste punt van de bodemdalingskom lag in 2006 iets ten westen van het Bergermeer veld. Boven het Bergermeer veld was de bodemdaling bij de waterpasmetingen in 2006 maximaal 10 cm gemeten met een meetonzekerheid van 1 cm (*referentie #15*). Voor enkele meetlocaties werd nog een kleine daling gemeten bij de waterpasmetingen in 2011. Dit viel binnen de meetonzekerheid. De totale bodemdaling sinds 1971 bleef minder dan 11 cm.

Voor de totale bodembeweging en bodemdalingskom boven de Bergermeer gasopslag speelt ook de huidige gaswinning uit omliggende gasvelden een rol. Vooral de gaswinning in de meer westelijk gelegen gasvelden van Bergen en Groet dragen bij aan de bodembewegingen boven het Bergermeer gasveld. Bij metingen en modellen van bodemdaling worden deze gecombineerde effecten meegenomen en beoordeeld.

In de waterpasmetingen van 2016 werd een duidelijke bodemstijging gemeten van maximaal 2 cm, eveneens met een meetonzekerheid van 1 cm. De gemeten bodemstijging tussen 2011 en 2016 komt door het vullen van het Bergermeer gasveld en de resulterende drukverhoging. Sinds de laagst gemeten druk in 2006 van 11 bar is de gasopslag geleidelijk gevuld van een druk van ongeveer 30 bar in 2010 tot 77 bar in het najaar van 2013. In 2014 werd de gasopslag in gebruik genomen en werd verder gevuld tot een druk van 133 bar in 2016.

De 2 cm bodemstijging valt ongeveer samen met een gemiddelde reservoirdruk van 125 bar in de gasopslag tijdens de laatste waterpasmetingen in 2016.

Wat is de bodembeweging bij de huidige gasopslag?

Analyses van de continue GPS metingen tonen een beweging van maximaal 1,3 cm boven het gasveld Bergermeer. Deze 1,3 cm beweging is het maximale verschil in bodembeweging tussen april 2014 bij een gasdruk van 77 bar (bij ingebruikname van de gasopslag) en bij de maximum druk van 133 bar eind 2016 (*referentie #1 en #2*). De analyse resultaten van deze bodembewegingen zijn ook gebruikt in de geomechanische studies (*referenties #1 en #2*). De gekalibreerde bewegingen die met het model zijn berekend voor de afgelopen vier jaar komen redelijk overeen met de metingen van de GPS stations (*referentie #2*).

Wat zijn de effecten door verhoging van de maximale druk van 133 naar 150 bar?

In bijlage 1 bij de aanvraag (*referentie #1*) vergelijkt TAQA de voorspelde grondbeweging voor de aangevraagde drukverhoging naar 150 bar met de grondbeweging als gevolg van het huidige drukbereik tussen 77 en 133 bar. Met deze vergelijking wil TAQA laten zien dat de verhoging naar 150 bar een gering effect heeft. TAQA geeft aan dat met de verhoging van de bovengrens de bodembeweging maximaal 1,5 cm zal zijn ten opzichte van april 2014. De jaarlijkse cyclus van op en neergaan van de bodem zal volgens TAQA op basis van de metingen en nieuwe berekeningen minder zijn dan deze 1,5 cm. De inschatting van de bodembeweging valt binnen de eerdere voorspellingen van het opslagplan (2008) waarin TAQA uitging van maximaal 2 cm bodembeweging gedurende de opslagcycli.

SodM oordeelt dat de berekening voldoende goed gekalibreerd is om deze voorspelling te kunnen doen. SodM vindt de extra jaarlijkse stijging en daling van 0,2 cm (verschil tussen 1,3 cm en 1,5 cm) door verhoging van de bovengrens van 133 bar naar 150 bar aannemelijk. SodM verwacht geen schade aan gebouwen en

infrastructuur als gevolg van een maximum bodembeweging van 1,5 cm door de gasopslag.

Wat is de verwachte bodembeweging op de lange termijn?

Voor de inschatting van de bodemdaling op de lange termijn is de gecombineerde bodemdalingskom van belang: bodemdaling als gevolg van de gasopslag Bergermeer en bodemdaling als gevolg van gaswinning uit naastgelegen gasvelden. Het diepste punt van de gecombineerde dalingskom ligt naar verwachting boven het gasveld Groet. Als gevolg van de gaswinning in het gasveld Groet wordt de maximale bodemdaling daar 15 cm. De gecombineerde dalingskom is beschreven in het winningsplan Bergen II en in het rapport (*referentie #15*) over de bodembeweging. Over deze gecombineerde bodemdalingskom in het winningsplan Bergen II heeft de minister op 9 januari 2019 een instemmingsbesluit genomen. Boven het Bergermeer veld zal de totale bodemdaling zolang het veld als gasopslag in gebruik is niet dieper worden dan 11 cm. Deze totale bodemdaling is niet het gevolg van de gasopslag, maar van de gaswinning uit het Bergermeer veld voor 2006 en de toekomstige winning uit de omliggende gasvelden.

Het op- en neergaan van de bodem bedraagt maximaal 1,5 cm door het gebruik van de gasopslag met de aangevraagde drukverhoging tot maximaal 150 bar. Deze bodembeweging kan met het bestaande GPS meetnet en met de waterpasmetingen goed worden gemonitord. Bij de waterpasmetingen en bodemdalingsanalyse wordt uitgegaan van een onzekerheid van 1 cm.

SodM heeft geen aanwijzingen dat bodemdaling en -stijging als gevolg van de gasopslag tot schade kan leiden. Aan het oppervlak heeft de bodemdaling een komvorm met een zeer geringe helling met een diepste punt en afstand van een paar kilometer tot de rand van de kom. SodM ziet geen aanleiding om aanvullende maatregelen te adviseren. De gevolgen en eventuele maatregelen van de bodemdaling voor de waterhuishouding worden ingeschat door het waterschap en provincie, als medeadviseurs in deze procedure.

SodM vindt het aannemelijk dat de nog te verwachten bodembeweging boven de Bergermeer gasopslag door het gebruik van de gasopslag minder dan 1,5 cm zal zijn.

SodM verwacht geen schade aan gebouwen en infrastructuur als gevolg van bodembewegingen door de gasopslag.

3. Risicoanalyse aardbevingen en maatregelen om schade te voorkomen en beperken

Bij de ondergrondse gasopslag fluctueert de druk in het reservoirgesteente door het onttrekken van gas in de wintermaanden en het injecteren van gas in de zomermaanden. In deze analyse wordt ingeschat of zich spanning opbouwt op breuken in en langs het reservoir en wat de effecten zijn voor het seismisch risico. De spanningen in het gesteente zouden namelijk kunnen leiden tot plotselinge verplaatsingen langs breuken in de vorm van bevingen en daardoor tot schade kunnen leiden.

Hieronder geeft SodM de beoordeling van het seismische risico ten gevolge van de gevraagde verhoging van de bovengrens van de gemiddelde reservoirdruk van 133 bar naar 150 bar. In de technische onderbouwing van de aanvraag concludeert TAQA dat de verhoging van deze bovengrens een verwaarloosbare invloed heeft op het seismisch risico. De onderbouwing heeft TAQA als bijlage 1 bij de aanvraag meegestuurd (*referentie #1*).

De volgende vragen spelen een rol in de beoordeling:

- A. Wat zijn de laatste inzichten uit de gemeten bevingen en microseismiciteit?
- B. Is het seismische risico op de juiste wijze geanalyseerd?
- C. Kunnen de gemeten bevingen met het huidige model worden begrepen?
- D. Wat is het seismisch risico van de oostelijke randbreuk in vergelijking tot de centrale breuk?
- E. Wordt het seismisch risico bepaald door de minimale of maximale drukgrens?
- F. Welk effect heeft de waterinjectie op het seismische risico?
- G: Wat is de huidige inschatting van het seismisch risico?
- H: Is de risicobeheersing actueel en doeltreffend volgens de laatste inzichten?

A: Wat zijn de laatste inzichten uit de gemeten bevingen en microseismiciteit?

Gedurende de gaswinning uit de Bergermeer gasopslag zijn door het KNMI vier voelbare aardbevingen gemeten van een magnitude 3,0 en hoger op de schaal van Richter. In 1994 vonden twee aardbevingen plaats met een magnitude (M) van 3,0 en 3,2 op de schaal van Richter. In 2001 vonden opnieuw twee bevingen plaats met een magnitude (M) van 3,2 en 3,5 op de schaal van Richter. Alle vier de bevingen werden gelokaliseerd op de centrale breuk in het reservoir, maar kenden enige onzekerheid in plaatsbepaling (*referenties #7, #8, #9*).

De initiële gasdruk in het reservoir voor aanvang van de winning in 1971 was 228 bar. De bevingen in 1994 vonden plaats gedurende de gaswinning uit het gasveld bij een reservoirdruk van ongeveer 70 bar. Ten tijde van de bevingen in 2001 was de gasdruk in het gasveld verder gedaald tot 35 bar (*referentie #2*). De laagste druk aan het einde van de gaswinning in 2006 was 11 bar in blok-1 en 25 bar in blok-2 (zie uitleg box 1 over de structuur van de gasopslag).

Het seismisch monitoringsnetwerk in Nederland wordt door het KNMI beheerd. Sinds 2010 heeft TAQA rond Alkmaar een speciaal meetnet geïnstalleerd om ook

microseismische trillingen te kunnen meten. De hoeveelheid energie van een trilling wordt gemeten in een magnitude volgens de schaal van Richter. Het KNMI meetnet in Nederland meet trillingen (aardbevingen) met magnitudes vanaf ongeveer $M=1,5$. Een microseismisch meetnet zoals aangelegd rond Alkmaar kan ook zeer kleine trillingen meten, waaronder microseismiciteit waarvan sprake is bij magnitudes kleiner dan $M=0,0$. Omdat de schaal van Richter logaritmisch is kunnen lichte trillingen een negatieve magnitude hebben.

Het microseismisch meetnet rond de gasopslag Bergermeer heeft 21 trillingen geregistreerd met een magnitude tussen $-1,4$ en 0 op de schaal van Richter gedurende de her-injectie van het gas en de eerste paar seizoenscycli. Met uitzondering van één beving in 2013 die een magnitude had van $M=0,90^d$. Deze beving trad op tijdens het opvullen bij een gemiddelde reservoirdruk van 68 Bar (*referentie #6*). De beving vond plaats op de centrale breuk waar de reservoirlagen van blok 1 en blok 2 gedeeltelijk naast elkaar liggen. Ook zijn een groter aantal zeer lichte trillingen gemeten met magnitudes kleiner dan $-1,4$.

De gemeten microseismiciteit is in 2016 opnieuw geanalyseerd (*referenties #7, #8*). De microseismiciteit kon daarmee beter worden gelokaliseerd op de centrale breuk en oostelijke randbreuk. Uit de analyse bleek ook dat de microseismiciteit op de centrale breuk sterk is afgenomen sinds de verhoging van de gasdruk en het opereren van de gasopslag binnen het drukbereik van 77-133 bar. Na 2015 is geen microseismiciteit meer gemeten op de centrale breuk. Daarentegen is de microseismiciteit op de oostelijke randbreuk toegenomen sinds 2014. Deze microseismiciteit trad met name op tijdens de injectie van gas in de cyclische opslagfase en mogelijk bij het hogere drukbereik. De microseismiciteit op de oostelijke randbreuk was in 2017 nieuwe informatie waarvoor de modellen tot dat moment geen goede verklaring gaven. TAQA heeft toen nieuw geomechanisch onderzoek laten doen (*referentie #2*). Vanaf oktober 2016 is er ook op de oostelijke randbreuk geen microseismiciteit meer gemeten. Voor de beoordeling van het seismisch risico is het wel belangrijk dat de microseismiciteit voldoende begrepen wordt (vraag C) en allereerst de vraag of daarvoor het juiste rekenmodel wordt gebruikt (onderstaande vraag B).

B: Is het seismische risico met het juiste model geanalyseerd?

Als onderbouwing van het huidige geomechanische model verwijst TAQA in de bijlage bij de aanvraag (*referentie #1*) naar het onderliggende rapport '*3D Geomechanical Model for Gas Storage Bergermeer*' (*referentie #2*). SodM oordeelt dat dit onderliggende rapport essentieel is voor de beoordeling van aannames en kalibratie van het model aan de meest recente gegevens en operationele omstandigheden. SodM heeft dit rapport ook laten beoordelen door een onafhankelijke buitenlandse expert (hierna: reviewer). Deze reviewer concludeert dat het een zeer uitgebreide en gedegen studie is die laat zien dat de modelberekeningen volgens de laatste stand der techniek zijn uitgevoerd.

^d Deze magnitude is een naar boven bijgestelde magnitude na her-interpretatie van de beving van 6 maart 2013 op basis van een verbeterde analysemethode door Q-con (*referenties #7 en #8*) en is in de originele rapportage geregistreerd als $M=0,70$.

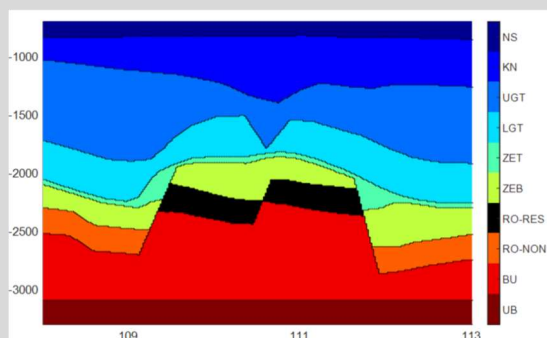
Box 1: Uitleg over de 3D structuur en de centrale breuk als complexe schaarbreuk

In het geomechanische model is de 3D structuur van het ondergrondse gasreservoir met breuken en aangrenzende en bovenliggende de gesteentelagen nagebouwd.

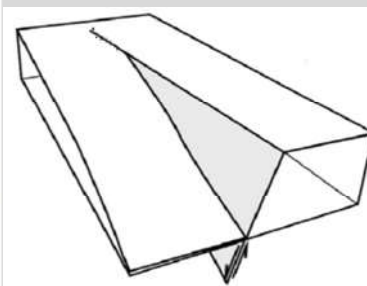
De gasopslag bestaat grofweg uit twee breukblokken, blok-1 en blok-2. Blok-1 vormt het oostelijk deel van het reservoir en ligt ingeklemd tussen de centrale breuk en de oostelijke randbreuk. Blok-2 vormt het westelijk deel van het reservoir en ligt tussen de westelijke randbreuk en de centrale breuk.

De centrale breuk is grofweg noord-zuid georiënteerd en splits het reservoir in tweeën. Blok-2 is miljoenen jaar geleden naar beneden geschoven ten opzichte van blok-1. De beide blokken van het reservoir liggen op een diepte van 2000-2200 meter. Langs de westelijke en oostelijke randbreuken zijn gesteentelagen buiten het reservoir verder naar beneden geschoven naar een diepte van 2500 meter. De diepte verschillen van de breukblokken worden door de bovenliggende gesteentelagen opgevuld. Een Zechstein zoutlaag dekt de hele structuur af.

De centrale breuk wordt ook wel aangeduid als een schaarvormige breuk. Hiermee wordt bedoeld dat de reservoirlaag in blok-2 veel schever staat ten opzichte van de reservoirlaag in blok-1. Naar het noorden toe ligt de reservoirlaag in blok-2 op eenzelfde diepte als in blok-1. Naar het zuiden toe ligt de reservoirlaag in blok-2 400 meter dieper dan in blok-1. Door de afschuiving langs de centrale breuk is de 200 meter dikke reservoirlaag in blok-2 in het zuiden volledig gescheiden van de reservoirlaag in blok-1. Naar het noorden toe is deze afschuiving minder. In het noordelijk deel van het reservoir is de afschuiving afwezig. De centrale breuk vormt als het ware een half-open schaar. De invloed van deze schaarvorm speelt een grote rol in geomechanische modellen (*referenties #16, #22, #24*) bij de spanningsopbouw en speelt daarom een belangrijke rol in de risicoanalyse.



Doorsnede van west (links) naar oost (rechts) door het Bergermeerveld (uit aanvraag TAQA).



Een voorbeeld van een schaarbreuk

Het rapport (*referentie #2*) beschrijft hoe de meest actuele interpretatie van de 3D structuur is gebruikt. De grootste wijziging ten opzichte van eerdere modellen is het opsplitsen van blok-1 in drie delen, gescheiden door twee kleinere breuken.

SodM beoordeling

Volgens artikel 26, lid 1, onderdeel b van het Mijnbouwbesluit dient een opslagplan de gegevens te presenteren over de structuur van het reservoir en de ligging van het reservoir ten opzichte van andere aardlagen. SodM oordeelt dat TAQA met de beschrijving van de wijziging van de geologische structuur hieraan voldoende invulling heeft gegeven. Wel geldt voor meerdere onderdelen van het nu voorliggende opslagplan dat de relevante informatie over meerdere documenten is verspreid. Dit advies bevat daarom een uitgebreide referentielijst en verwijzingen.

C: Kunnen de gemeten bevingen met het huidige model worden begrepen?

Het rapport '*3D Geomechanical Model for Gas Storage Bergermeer*' (*referentie #2*) is de basis voor de analyse van TAQA van de effecten van de drukverhoging tot 150 bar op het seismische risico. Het rapport beschrijft de geomechanische modelberekeningen voor drie fasen in de drukontwikkeling van het reservoir:

- (I) De gaswinning van 1971 tot 2006 tot de laagste reservoirdruk in blok-1 van 11 bar.
- (II) Het opvullen van het reservoir tussen 2010 en 2013 tot de druk waarbinnen het reservoir als gasopslag kon worden gebruikt.

Het begin van de feitelijke gasopslag wordt door TAQA gelegd op 1 april 2014 (*referentie #1*) bij de start van de injectie vanaf een begindruk van 77 bar.

- (III) De fase van gasopslag met drukontwikkeling van drie opslagcycli tot een maximum 133 bar tussen 2014-2017 en met een voorspelling voor 2018-2019-2020 van drie volledige cycli over het vergunde drukbereik van 77-133 bar.

In de aanvraag (*referentie #1*) geeft TAQA de geomechanische berekening voor:

- (IV) De aangevraagde opslagcycli binnen een drukbereik van 77-150 bar.

SodM beoordeelt eerst dit geomechanische rapport voor de drukontwikkeling tot 133 bar. Daarna beoordeelt SodM de aanvraag (*referentie #1*) van de berekende effecten van de verhoging van het drukbereik van 133 bar naar 150 bar.

Box 2: Uitleg over gesteentespanning en beweging langs breuk

Een aardbeving treedt op als op een breuk gesteentelagen langs elkaar schuiven. De spanning in het gesteente leidt zulke beweging op een breuk. Twee soorten gesteentespanning spelen een rol. De *schuifspanning* op een breuk kan leiden tot beweging langs de breuk als de spanning groter is dan de weerstand van de breuk. *Samendrukkende gesteentespanning* zorgt voor toename van de weerstand van de breuk. De *fictie coëfficiënt* vormt de grenswaarde waarboven een breuk zou kunnen gaan schuiven.

vervolg Box 2

Een breukdeel raakt *kritisch gespannen* wanneer de verhouding tussen de *schuifspanning* en *samenduwende gesteentespanning* in de buurt komt van deze grenswaarde.

Door toename van de gasdruk in het reservoir nemen zowel de *samenduwende spanning* als de *schuifspanning* in het gesteente af. Toename in gasdruk kan betekenen dat breuken gemakkelijker kunnen gaan schuiven. Toename in gasdruk kan ook het tegenovergestelde effect hebben: de kans op breukbeweging neemt af. Het kan zelfs zo zijn dat sommige delen van één breuk meer gespannen raken terwijl andere breukdelen van dezelfde breuk minder gespannen raken. Ook bij afname van de gasdruk in het reservoir geldt dat de breuken zowel makkelijker als moeilijker kunnen gaan schuiven, of dat sommige delen van een breuk meer gespannen raken dan andere delen van de breuk. Bij analyses van de model resultaten is het daarom van belang dat de veranderingen van de gesteentespanningen goed worden weergegeven voor afzonderlijke delen van de verschillende breuken.

In een 3D geomechanisch model worden alle gesteentespanningen en gasdrukken doorgerekend. Het visualiseren van de spanningsverandering als gevolg van het variëren in gasdruk (het *spanningspad*) helpt om goed inzicht te krijgen in de effecten. Het is gebruikelijk om spanningspaden voor een aantal belangrijke locaties in het 3D model te analyseren op kritische spanningen langs de breuken.

TAQA besteedt in bijlage 1 van de aanvraag (*referentie #1*) en in het onderliggende geomechanische rapport (*referentie #2*) uitgebreid aandacht aan de spanningsverdeling op de breuken. TAQA beschrijft op basis van de berekeningen hoe de spanning op de bewogen breukdelen sterk is verlaagd en de mate waarin aan de randen van de verschoven breukdelen de spanning is opgebouwd. Met het visualiseren van de spanningspaden wil TAQA aantonen dat de verhoging van de maximale werkdruk van 133 naar 150 bar een verwaarloosbare invloed heeft op het seismisch risico.

Box 3: Uitleg over aardbeving, magnitude en spanningsverlaging door beving

Een aardbeving treedt op als een breuk verschuift. Hoe groter het schuivende oppervlak des te groter de magnitude van een beving. Met het 3D model van Bergermeer kan de grootte van het breukoppervlak worden berekend dat door veranderingen van de gasdruk *kritisch gespannen* raakt. Zonder zo'n model wordt voor de berekening van de magnitude van de 'realistisch sterkste beving' (M_{max}) ervan uitgegaan dat het gehele breukoppervlak in het reservoir in één keer zou kunnen schuiven. Dit is een zogenaamd 'worst-case' scenario. De kans is echter zeer klein dat de hele breuk in het reservoir in één keer gaat schuiven.

Wanneer de breuk verschuift treedt herverdeling van de gesteentespanning op langs de breuk. Op het verschoven oppervlak van de breuk wordt de gesteentespanning verlaagd. Langs de randen van het verschoven oppervlak neemt de gesteentespanning toe. Deze spanningsverlaging en verhoging vormen de *spanningscorrectie* op de breuk. Door onderzoek aan aardbevingen is duidelijk dat deze spanningscorrectie plaatsvindt. Ook in geomechanische rekenmodellen wordt deze spanningscorrectie soms toegepast. De spanningspaden voor locaties op de verschoven en niet-verschoven oppervlaktes van een breuk kunnen sterk verschillen. Analyses van spanningspaden helpen om te beoordelen of veranderingen in gasdruk kunnen leiden tot kritische spanningen op delen van een breuk.

De reviewer heeft beoordeeld (*referentie #4*) of in het rapport (*referentie #2*) de aannames goed zijn onderbouwd, en of de onzekerheden van de gekozen model parameters voldoende zijn onderkend. In de opmerkingen van de reviewer en in de beoordeling zijn de volgende aandachtspunten van belang.

- i. De gesteentespanning op een breukdeel dat verschuift neemt af door de energie die bij een aardbeving vrijkomt. Door de vier aardbevingen tijdens de gaswinning met magnitudes groter dan $M=3,0$ is de gesteentespanning op die breukdelen afgenomen. Echter, hoeveel de gesteentespanning afneemt door een aardbeving kan niet nauwkeurig worden vastgesteld.

In de studie is een scenario doorgerekend waarbij geen *spanningscorrectie* is toegepast voor de aardbevingen die zijn opgetreden sinds het Bergermeer gasveld na 2009 werd opgevuld en de gasdruk toenam. In dit scenario wordt geen spanningscorrectie toegepast voor bevingen die wel hebben plaatsgevonden. Het seismisch meetnet heeft sinds 2010 immers bevingen gemeten op de centrale breuk tot een magnitude van $M=0,9$. In werkelijkheid is de gesteentespanning op verschoven delen van breuken waarschijnlijk wel afgenomen. Dit scenario gaat uit van de slechtste omstandigheid, bij berekening van het grootste risico op toekomstige bevingen. De afname van de gesteentespanning door het verschuiven van de breuk is in dit scenario niet verrekend, maar wel de veranderingen van de gesteentespanning door veranderingen van de gasdruk. Deze veranderingen in gesteentespanning ontstaan door de toename van de gasdruk bij het vullen van het gasveld en

als gevolg van de cyclische veranderingen van de gasdruk toen het gasveld vanaf 2014 als gasopslag werd gebruikt.

- ii. In de geomechanische studie (*referentie #2*) voor het huidige bereik van de gasdruk tot 133 bar is gerekend met een frictie coëfficiënt van 0,65. Voor deze grenswaarde voorspelt het model een hoeveelheid kritisch belast breukoppervlak. De hoeveelheid energie die volgens de studie vrijkomt bij beweging langs de centrale breuk komt overeen met de hoeveelheid energie van de vier bevingen met $M \geq 3,0$ van 1994 en 2001. Bij een lagere frictie coëfficiënt (een lagere grenswaarde) zal een breuk al kritisch gespannen kunnen raken bij een kleinere verandering in gesteentespanning. Andersom geredeneerd, bij eenzelfde toename in de verhouding van de gesteentespanning zal een groter breukoppervlak kritisch gespannen kunnen raken.

In de periode van gaswinning zouden ook niet voelbare bevingen plaatsgevonden kunnen hebben die door het toenmalige seismisch meetnet niet konden worden gemeten. Door de *frictie coëfficiënt* te verlagen naar 0,60 houdt het model rekening met de mogelijkheid dat meer breukoppervlak kritisch gespannen was dan wat uit de vier bevingen kan worden afgeleid. In de 3D geomechanische studie zijn de onzekerheden van de frictie coëfficiënt meegenomen in een analyse van de model gevoeligheid (*referentie #2*). De reviewer beoordeelt dat deze modelonzekerheden hiermee goed zijn meegewogen.

Beoordeling van de reviewer

Volgens de reviewer is in de geomechanische studie door TAQA goed rekening gehouden met onzekerheden en aannames in het model. Het rapport van TAQA concludeert dat met de vier aardbevingen, de schuifspanning op de toen bewegende breukdelen van de centrale breuk is afgenomen. De reviewer beoordeelt deze conclusie als aannemelijk. De reviewer stelt wel enkele vragen over de manier waarop deze afname van de schuifspanning is berekend. Deze spanningscorrectie wordt namelijk berekend uit een 2D model en vertaald naar de spanningsafname in 3D.

Extra vragen aan TAQA over spanningspaden

SodM heeft TAQA daarna nog een aantal vragen gesteld over de modelberekeningen en uitkomsten. TAQA heeft mij daar antwoorden op gegeven (*referentie #3*). Mijn vragen bouwden voort op de vraag van de reviewer en gingen verder in op het verloop van de spanningspaden voor een aantal specifieke locaties op de centrale breuk. Ter informatie, deze spanningspaden worden getoond in Figuur 4 van bijlage 1 van de aanvraag (*referentie #1*). Figuur 3 toont een doorsnede langs de breuk met de locaties op de centrale breuk.

Over de spanningspaden heeft SodM aan TAQA extra vragen gesteld (*referentie #3*). Vragen B-1 en B-2 waren ter verduidelijking. Vraag B-3 was een fundamentele vraag over de implicaties van de modelberekeningen. De extra

toelichting van TAQA is meegenomen bij de beoordeling van wat de effecten kunnen zijn van het veranderen van het drukbereik naar 77-150 bar in plaats van het huidige vergunde drukbereik van 77-133 bar.

Vraag over drukverschillen in overweging instemming Opslagplan 2008

Eén van de overwegingen in het instemmingsbesluit op het huidige opslagplan was of drukverschillen tussen blok-1 en blok-2 (drukverschil over de centrale breuk) invloed zouden kunnen hebben op de seismiteit. TNO heeft in 2009 in opdracht van TAQA studie gedaan naar de invloed van drukverschil over de centrale breuk (*referentie #23*). Ook in de recente 3D geomechanische studie (*referentie #2*) heeft TAQA de drukverschillen die in het verleden zijn opgetreden tussen blok-1 en blok-2 opnieuw geanalyseerd.

In de periode tussen 2010 en 2013 werden de drukverschillen tussen de twee blokken groter tot maximaal 40 bar eind 2012. In deze periode is nog via oude putten geïnjecteerd die vooral in blok-1 stonden. Daarbij ontstonden drukverschillen tussen blok-1 en blok-2. Stroming van gas tussen blok-1 en blok-2 werd namelijk bemoeilijkt doordat de blokken in het zuiden volledig van elkaar gescheiden zijn door de schaarbreuk (zie uitleg in box 1). Sinds 2014 zijn nieuwe putten voor de gasopslag in gebruik genomen die beter over blok-1 en blok-2 verspreid staan. Het drukverschil tussen de twee blokken heeft zich toen weer vereffend.

TAQA heeft de drukverschillen over deze periode vergeleken met de gemeten microseismiciteit op de centrale breuk. Tussen 2010 en 2015 zijn een groot aantal zeer lichte trillingen gemeten langs de centrale breuk, waarvan 7 met een magnitude tussen -1,4 en 1,0. De 3D geomechanische studie (*referentie #2*) wijst volgens TAQA op een mogelijk verband tussen de drukverschillen over de centrale breuk en de gemeten microseismiciteit. De verdere toename in gasdruk boven de 100 bar wordt als andere mogelijke reden gegeven (*referentie #2*) dat er vanaf 2015 geen microseismiciteit op de centrale breuk meer wordt gemeten. In de onderbouwing bij de aanvraag (*referentie #1*) wordt bovendien als verklaring gegeven dat kleine oppervlaktes van de centrale breuk bij gasinjectie aanvankelijk nog kritisch konden worden. TAQA rekent in de aanvraag voor dat door spanningscorrecties als gevolg van de microseismiciteit de gesteentespanning inmiddels onder de grenswaarde is gezakt. TAQA geeft dit als uiteindelijke verklaring in de aanvraag (*referentie #1*) dat na 2015 geen microseismiciteit op de oostelijke randbreuk is gemeten. De laatste twee verklaringen sluiten aan op de conclusie in het SodM advies^e van 2010 dat bij verhoging van de druk in een reservoir de kans op geïnduceerde aardbevingen in principe afneemt.

SodM beoordeling

Van belang is dat de spanningstoestand op de breuken bij de huidige ondergrens voor de gasdruk van 77 bar voldoende begrepen wordt om het effect te kunnen

^e Advies SodM en TNO, 3 maart 2010, kenmerk 10036810, Herziening opslagplan Bergermeer; Aanvulling op advies van 19 maart 2009, kenmerk 9055611.

beoordelen bij een verhoging van de gasdruk naar 150 bar. TAQA laat zien dat het grootste deel van de centrale breuk onder een lagere spanning staat sinds verhoging van de gasdruk vanaf 2010. SodM vindt dat de randen van het breukoppervlak dat in 1994 en 2001 is verschoven in de modelberekening een complexe en afwijkende spanningsontwikkeling laten zien. Mijn extra vragen zijn voldoende beantwoord om het seismisch risico verder te kunnen beoordelen.

SodM oordeelt dat als gevolg van aardbevingen in 1994 en 2001 ook naar huidig inzicht de spanning is afgenomen op de toen verschoven breukoppervlakken. De 3D geomechanische studie (*referentie #2*) geeft nieuw inzicht in de toename van de spanning aan de randen van de eerder verschoven breukoppervlakken.

TAQA heeft opnieuw gekeken naar de vraag of drukverschil over de centrale breuk invloed kan hebben op de seismiciteit langs de centrale breuk. Op basis van de laatste inzichten blijkt volgens SodM geen duidelijk effect maar dit kan ook niet worden uitgesloten. De huidige microseismische monitoring en jaarlijkse drukrapportage zijn hiervoor de juiste beheersmaatregelen.

De gemeten bevingen en microseismiciteit kunnen met het huidige model voldoende worden begrepen. Hierna wordt het seismische risico met behulp van deelvragen verder beoordelen.

D: Wat is het seismisch risico van de oostelijke randbreuk in vergelijking tot de centrale breuk?

Uit eerdere geomechanische studies werd geconcludeerd dat het grootste seismische risico werd veroorzaakt door de centrale breuk. Langs deze breuk vonden de vier bevingen plaats met magnitudes groter dan 3,0 in 1994 en 2001. Na de ingebruikname in 2010 van het microseismisch monitoringsnetwerk worden vanaf 2011 voor het eerst trillingen op de oostelijke randbreuk gemeten. Dit is na het begin van de her-injectie van gas in het reservoir en vanaf 2014 ook tijdens cyclische gasopslag. Doordat er nu op de oostelijke randbreuk microseismiciteit wordt gemeten, is de vraag of op de oostelijke randbreuk ook zwaardere bevingen zouden kunnen plaatsvinden. TAQA concludeert dat het seismisch risico van de oostelijke randbreuk beperkt is en niet groter wordt door verhoging van de bovengrens van het drukbereik van de gasopslag.

In de 3D geomechanische studie (*referentie #2*) onderzoekt TAQA in welke mate de oostelijke randbreuk kritisch belast wordt onder het huidige drukbereik van 77-133 bar. De gesteentespanning bereikt in het model nergens op de oostelijke randbreuk de grenswaarde voor een frictie coëfficiënt van 0,60. Beweging langs de breuk zou volgens het model pas optreden in geval de gesteentespanningen een lage frictie coëfficiënt van 0,50 overschrijden. TAQA concludeert dat een klein gedeelte van breukoppervlak een gesteentespanning heeft dat bij een lage grenswaarden zouden kunnen verschuiven.

Het grootste deel van het breukoppervlak heeft een spanningsverandering bij het huidige drukbereik van 77-133 bar die onder de lage grenswaarde van 0,50 ligt.

En zijn daarmee volgens TAQA stabiel. Voor kleine delen van het oostelijke randbreuk liggen de verhoudingen in gesteentespanning mogelijk boven deze lage grenswaarde. TAQA denkt dat voor kleine oppervlaktes van breuken deze lage grenswaarde van toepassing is waardoor die kunnen verschuiven en microseismiciteit veroorzaken. In de modelberekeningen voor de aangevraagde bovengrens van 150 bar (bijlage 1 van *referentie #1*) is ook met de grenswaarde van 0,50 gewerkt.

Wat als er wel microseismiciteit was maar nog niet kon worden gemeten?

Vóór de installatie van het microseismisch monitoringsnetwerk zijn met het gewone KNMI meetnet geen bevingen op de oostelijke randbreuk gemeten. Na de ingebruikname van het micro-seismische netwerk werd op de oostelijke randbreuk pas in 2011 voor het eerst trillingen gemeten. Dat er tot 2011 geen bevingen op de oostelijke randbreuk waren gemeten kan twee dingen betekenen: dat er lichte trillingen zijn geweest die niet konden worden gemeten door het KNMI meetnet, of dat er geen lichte trillingen zijn geweest.

Eén scenario van TAQA veronderstelt dat er bevingen geweest kunnen zijn met een magnitude die kleiner was dan de detectiegrens van het KNMI meetnet van voor 2010. Ook al is zo'n beving niet gemeten, dan zou toch de gesteentespanning rond de breuk door zo'n beving wel zijn verlaagd. Het alternatieve scenario veronderstelt dat op de oostelijke randbreuk tot 2011 geen bevingen hebben plaatsgevonden, en elke opgebouwde gesteentespanning niet is verlaagd. Van de twee opties is dit tweede scenario het meest negatieve uitgangspunt (worst-case) voor de huidige gesteentespanning. Dit scenario gaat er namelijk vanuit dat de gesteentespanning langs de oostelijke randbreuk nog aanwezig is die door de gaswinning tussen 1971 en 2006 mogelijk is opgebouwd. Het is voor de risicobeoordeling goed dat ook dit scenario door TAQA is doorgerekend (*referentie #2*). TAQA laat zien dat ook voor dit slechtste scenario het risico van bevingen op de oostelijke randbreuk kleiner is dan het risico van een beving op de centrale breuk.

Als de microseismiciteit op oostelijke randbreuk optreedt door gasinjectie, kan het erger worden door meer of sneller te injecteren?

De vraag of microseismiciteit optrad tijdens de gaswinning tot 2006 kan niet worden beantwoord. Er was toen nog geen meetnet om dat te kunnen meten. Maar als de oostelijke randbreuk voor het eerst microseismiciteit liet zien en dus kritisch gespannen raakte tijdens toename van de gasdruk in gasopslag, wat is dan het effect van meer gasinjectie?

De microseismiciteit op de oostelijke randbreuk is volgens TAQA het gevolg van de snelheid waarmee de gasdruk in het reservoir verandert. Deze conclusie onderbouwt TAQA met bijlage 1 van de aanvraag (*referentie #1*). TAQA laat met deze bijlage zien dat de voorspelde microseismiciteit op de oostelijke randbreuk in het rekenmodel samenvalt met hogere snelheden van gasinjectie. Het rekenmodel toont (figuren 9 en 10, bijlage 1 van *referentie #1*) meer microseismiciteit voor de doorrekening van de drie volledige cycli over het vergunde drukbereik van 77-133

bar dan voor de drukontwikkeling van drie niet volledige opslagcycli (niet terug naar 77 bar), die de gasopslag tussen 2014-2017 heeft doorgemaakt. In beide sets van drie gemodelleerde cycli is de bovengrens in de gasdruk hetzelfde, namelijk 133 bar. Het verschil tussen beide sets van drie cycli is de snelheid van de gasinjectie.

Op basis van deze uitkomsten van het geomechanisch model concludeert TAQA dat de waargenomen toename in microseismiciteit op de oostelijke randbreuk veroorzaakt wordt door veranderingen van de injectiesnelheid. TAQA heeft in bijlage 1 van de aanvraag (*referentie #1*) vervolgens ook de microseismische activiteit doorgerekend voor de aangevraagde drukverhoging naar 150 bar. De resultaten in figuur 10 laten geen verschillen zien in de microseismische activiteit. TAQA beargumenteert dat dit komt doordat de maximum injectie snelheid voor de 133 bar en 150 bar bovengrens hetzelfde blijft. Aan de huidige capaciteit van de pompen verandert niets.

SodM beoordeling

TAQA heeft met de geomechanische studies voldoende aannemelijk gemaakt dat dat het grootste deel van de oostelijke randbreuk zeer waarschijnlijk niet kritisch gespannen raakt. Ook niet bij een verhoging van de bovengrens naar 150 bar. De verhoudingen in gesteentespanningen zijn voldoende klein en voldoende verwijderd van de grenswaarde. Voor kleine delen van het breukoppervlak kan niet worden uitgesloten dat de verhoudingen in gesteentespanning wel dichterbij de grenswaarde zitten. Dit betekent dat microseismiciteit kan optreden op de oostelijke randbreuk, maar dat het risico van een beving op de oostelijke randbreuk beperkt is. Het seismische risico wordt daarom bepaald door de centrale breuk en niet door de oostelijke randbreuk.

De modelberekeningen geven een indicatie dat snelheid van gasinjectie de hoeveelheid microseismiciteit zou kunnen beïnvloeden. Zo'n indicatie geeft voldoende aanleiding om de injectiesnelheid op de huidige limieten te beperken. SodM stelt voor om de huidige maximale snelheid voor injectie vast te leggen in een voorwaarde. Zie ook advies onderdeel 1, planmatig gebruik van de ondergrond.

SodM adviseert om de snelheid waarmee de ondergrondse gasopslag Bergermeer met gas kan worden gevuld vast te leggen op maximaal 42 miljoen Nm³ per dag.

SodM adviseert om de snelheid waarmee gas uit de ondergrondse gasopslag Bergermeer kan worden geproduceerd vast te leggen op maximaal 57 miljoen Nm³ per dag.

E: Wordt het seismisch risico bepaald door de minimale of maximale drukgrens?

TAQA beargumenteert dat het seismisch risico ook volgens de huidige inzichten wordt bepaald door de ondergrens van het drukbereik, bij 77 bar (*referentie #2*). In de aanvraag (*referentie #1*) concludeert TAQA dat het seismisch risico voor de centrale breuk onveranderd blijft met aangevraagde verhoging van de maximale gemiddelde reservoirdruk van 133 bar naar 150 bar.

TAQA maakt in de onderbouwing onderscheid tussen verschillende delen van de centrale breuk met een tegengesteld geomechanisch gedrag (zie toelichting over spanningspaden in box 2). TAQA stelt dat het spanningspad voor het grootste deel van de centrale breuk dicht bij grenswaarde komt wanneer de gasdruk naar de ondergrens van 77 bar gaat. Voor een klein deel van de centrale breuk stelt TAQA een tegenovergesteld gedrag voor op basis van de modellen (*referentie 2*). TAQA concludeert in de aanvraag (*referentie #1*) dat een klein breukoppervlak het meest kritisch gespannen is bij de bovengrens van het drukbereik. TAQA vergelijkt vervolgens de spanningspaden voor de huidige drukbegrenzing van 77-133 bar met de aangevraagde drukbegrenzing van 77-150 bar voor zes punten op de centrale breuk.

Ontwikkeling inzicht in stabiliteit breuken door onderzoek

Het opslagplan uit 2008 concludeerde op basis van de studie van Logan uit 1997 dat bij verhoging van de gasdruk in het reservoir de kans op geïnduceerde aardbevingen afneemt. De TNO studie uit 2008 in opdracht van TAQA (*referentie #24*) komt tot vergelijkbare conclusies. In het SodM advies^f van 2010 wordt deze argumentatie aangehaald. Het toenmalige inzicht was dat bij verhoging van de druk in een reservoir de kans op geïnduceerde aardbevingen in principe afneemt, met andere woorden, dat de opslag een stabiliserend effect zou hebben. Vervolgens werd in het advies de nuancering gemaakt dat onderzoekers van het MIT instituut het stabiliserende effect door een geleidelijke verhoging van de gasdruk niet konden uitsluiten, maar ook niet konden bevestigen (*referentie #25*).

Het inzicht is sindsdien gegroeid dat ook bij verhoging van de gasdruk breuken in het reservoir instabiel kunnen blijven of opnieuw instabiel zouden kunnen worden.

In 2018 is onderzoek gedaan in het kader van het Kennisprogramma Effecten Mijnbouw (hierna: KEM) naar de veilige operationele bandbreedte voor gasopslagen. De rapporten van deze studie (KEM01) zijn op de KEM website gepubliceerd^g. Eén relevante uitkomst is dat breuken in een reservoir kritisch belast kunnen worden ook bij toenemende gasdruk tot nabij de initiële reservoirdruk. In het verleden werd gemeend dat de breuken alleen kritisch belast

^f Advies SodM en TNO, 3 maart 2010, kenmerk 10036810, Herziening opslagplan Bergermeer; Aanvulling op advies van 19 maart 2009, kenmerk 9055611.

^g www.kemprogramma.nl/blog/view/57979342/kem-01-geomechanical-factors-determining-fault-criticality-during-pressure-cycling-of-underground-gas-storage-in-reservoirs

werden bij lage reservoirdruk en dat breuken zouden stabiliseren door herinjectie van gas.

Volgens het KEM01 onderzoek kan een breuk kan bij herinjectie, boven een bepaalde drukverhoging kritisch worden, wanneer de breuk al heeft bewogen tijdens de productie fase. In dat geval leidt een verhoging van de gasdruk in eerste instantie tot een afname van de schuifspanning op de breuk tot nul. Verdere verhoging van de gasdruk kan leiden tot een toename van de schuifspanning in tegenovergestelde richting. In dat geval kunnen breuken kritisch worden zowel aan de onderkant van het drukbereik als aan de bovenkant. Uit de KEM01 studie blijkt echter ook dat dit gedrag optreedt op een kleiner oppervlak van de breuk dan het oppervlak dat eerder bewogen heeft tijdens de initiële gaswinning.

SodM beoordeling

SodM vindt dat uit de modelberekeningen van TAQA voldoende blijkt in welke mate breuken kritisch gespannen zijn, zowel aan de onderkant (77 bar) als aan bovenkant van het drukbereik (150 bar).

De uitkomsten van TAQA heeft SodM vergeleken met de KEM01 studie, die niet specifiek voor de gasopslag Bergermeer is uitgevoerd. De KEM01 studie stelt als één van de aanbevelingen een generieke vuistregel voor een veilig drukbereik. Toepassing van deze indicatieve vuistregel^h op Bergermeer laat zien dat de aangevraagde drukverhoging ruim binnen de veilige marge blijft.

Naar aanleiding van mijn extra vragen heeft TAQA extra analyses gemaakt van de spanningsontwikkeling (*referentie #3*). Mijn vraag B-3 en het antwoord van TAQA gaan over het gedrag van de breuk als delen ervan zijn gaan schuiven bij lage gasdruk aan het eind van de gaswinning (fase I voor tot in 2009). Doel van deze vraag was te beoordelen of de in het model toegepaste spanningscorrecties voldoende goed kunnen worden begrepen om aan de uitkomsten de door TAQA voorgestelde conclusies te verbinden.

Op basis van het bovenstaande beoordeelt SodM deze conclusies als volgt:

- a) TAQA heeft voldoende duidelijk gemaakt dat voor het grootste deel van de centrale breuk de ondergrens van 77 bar bepalend is voor mogelijke verschuivingen en bevingen (1^e deelconclusie in aanvraag, bijlage 1). Dit past ook bij de resultaten van de KEM01 studie en sluit aan bij eerdere studies.

^h Als vuistregel wordt in de conclusie van de KEM01 studie voorgesteld om het verschil in gasdruk te nemen tussen de bovengrens van de gasdruk tijdens de gasopslag (aanvraag voor Bergermeer is 150 bar) en de laagste druk van het gasveld aan het eind van de gaswinning (is 11 bar voor Bergermeer). Dit drukverschil is 139 bar. Vervolgens zou dit drukverschil volgens de vuistregel kleiner moeten zijn dat het verschil tussen de initiële reservoirdruk voor aanvang van gaswinning (is 228 bar voor Bergermeer) en de gasdruk op het moment van de eerste beving (is 70 bar voor Bergermeer). Dit verschil is 158 bar als indicatieve grenswaarde voor een veilig drukbereik. Het drukverschil van 139 bar (150 bar aangevraagde bovengrens, min 11 bar laagst gemeten reservoirdruk) voor Bergermeer valt dus ruim binnen deze indicatieve grenswaarde volgens de vuistregel uit de KEM01 studie.

- b) De inschatting dat voor een klein deel van de centrale breuk de bovengrens van het drukk bereid bepalend is voor mogelijke verschuiving vindt SodM voldoende aannemelijk (2^e deelconclusie in aanvraag, bijlage 1). De verhoudingen in gesteentespanningen lijken voor deze breukoppervlaktes dus meer kritisch te worden bij een verhoging van de bovengrens van 133 bar naar 150 bar.
- c) De beantwoording van mijn extra vragen (vooral 3-B, *referentie #3*) heeft voldoende duidelijk gemaakt dat onzekerheden over de precieze doorwerking van de spanningscorrecties op de breuken voldoende beperkt zijn zodat conclusies (a) en (b) voldoende overtuigend zijn.
- d) Het is voldoende aannemelijk dat een verhoging van de bovengrens naar 150 bar geen verhoging van het seismisch risico betekent voor de centrale breuk (3^e deelconclusie in aanvraag, bijlage 1). Voor een klein breukoppervlak neemt de mogelijkheid van verschuivingen en daarmee bevingen wel toe. Dit heeft geen significant effect op het seismisch risico omdat het oppervlak dat bij 150 bar kritisch gespannen kan raken een stuk kleiner is dan het oppervlak dat bij de ondergrens van 77 bar kritisch gespannen kan raken.
- e) Volgens mijn inschatting is de mate van de spanningscorrectie onzeker. Het is een aanname in een gedetailleerde studie waarin de effecten van de belangrijkste onzekerheden goed zijn meegenomen (zie ook beoordeling van reviewer). Op basis van het antwoord op mijn extra vraag 3-B (*referentie #3*) concludeert SodM dat deze onzekerheid geen grote impact op het risico heeft.

Deze conclusies zijn gebaseerd op studies voor een drukk bereik van de gemiddelde reservoirdruk van 77 tot 150 bar. SodM adviseert om dit drukk bereik als voorwaarde in uw besluit op te nemen.

SodM adviseert om de volgende voorwaarde op te nemen:

- ***De berekende gemiddelde reservoirdruk, als aangegeven in de aanvraag van TAQA Onshore B.V. op een referentiediepte van 2100 meter (TV NAP) mag niet lager zijn dan 77 bar(a) en niet hoger zijn dan 150 bar(a).***

F: Welk effect heeft waterinjectie op het seismisch risico?

In het reservoir wordt ook water geïnjecteerd. Het water komt mee bij de productie van gas. Daarna wordt het water via put BGM-03B in de watervoerende laag (aquifer) van het Bergermeer gasveld geïnjecteerd onder het gas van de gasopslag. De gevolgen van de waterinjectie voor het milieu worden besproken in onderdeel 4 van dit advies. Voor de beoordeling van het seismisch risico is van belang dat de waterinjectie de gesteentespanningen in de nabijheid van breuken niet negatief beïnvloedt.

TAQA heeft in 2014 extra studies (*referenties #18, #19*) laten doen naar de effecten van waterinjectie op de stabiliteit van breuken. Deze studies lieten zien dat de injectie van 811 m³ productiewater per dag via put BGM-03B veilig kan. De invloed van de injectie van koud productiewater op de stabiliteit van de centrale breuk in het Bergermeer reservoir is in deze studies doorgerekend. De perforaties

in de waterinjectie put bevinden zich op een afstand van ongeveer 300 meter van de centrale breuk. De oostelijk randbreuk ligt op grotere afstand. De conclusie was dat waterinjectie van 811 m³ per dag geen destabiliserend effect heeft op de centrale breuk.

Op basis van deze studies heeft SodM toen geconcludeerd dat waterinjectie putten minimaal op 200 m van de centrale breukstructuur en de randbreuken moeten liggen. Dit was voor een drukk bereik in het gasveld van 77-133 bar.

In het instemmingsbesluit op het huidig opslagplan van 2008 zijn voorwaardes opgenomen met het oog op de seismische risico's. Omdat bij de uitvoering van de waterinjectie ook bovengrondse milieutechnische en mijnbouwlocatie specifieke afwegingen spelen wordt de waterinjectie via de omgevingsvergunning vastgelegd. In 2014 heeft SodM de minister over de waterinjectie in het kader van de omgevingsvergunning geadviseerd (kenmerk 14077186) en afwegingen met betrekking tot het seismisch risico daarin meegenomen. Met het besluit van 22 april 2015 heeft de minister een omgevingsvergunning afgegeven voor de uitbreiding van de injectie tot maximaal 811 m³ per dag via put BGM-03B (kenmerk 15045068), tot een maximum van 73.000 m³ per jaar.

TAQA heeft in de 3D geomechanische studie (Appendix IV in bijlage 1 van *referentie #2*), ook een doorrekening gemaakt van het effect van de waterinjectie samen met een verhoging van de bovengrens in gemiddelde reservoirdruk naar 150 bar. In vergelijking tot de in 2014 uitgevoerde studies (*referenties #18, #19*) is naast het verhoging van de bovengrens naar 150 bar ook het gesteente stijver, om redenen die in het rapport (*referentie #2*) volgens de reviewer en SodM voldoende worden toegelicht. Het effect van een stijver reservoirgesteente is onder andere dat het model hogere rekspanning voorspelt in geval van afkoeling van het gesteente door waterinjectie. Door het stijvere gesteente als modelparameter is dit een slechtste-geval scenario waarin scheurvorming het gemakkelijkst kan optreden. In geval dat beperkte scheurgroei door waterinjectie optreedt, zou dat niet uitzonderlijk zijn. Dat gebeurt in meer reservoirs en watervoerende lagen waarin wordt geïnjecteerd. Belangrijk is dat scheurgroei in het reservoir of watervoerende laag beperkt blijft en voldoende afstand heeft tot breuken. Ook mag een scheur nooit doorgroeien naar de bovenliggende afsluitende gesteentelaag (zie daarvoor onderdeel 4 van deze beoordeling). TAQA maakt met de modelberekening voldoende duidelijk dat vanaf het injectiepunt bij de put de scheur maximaal 20-25 meter zal zijn. Studies (*referenties #18, #19*) laten zien dat de berekende scheurlengte veel onzekerheden kent. Deze onzekerheden worden ruim voldoende meegenomen: er wordt een afstand van tenminste 200 meter aangehouden tussen het injectiepunt van de put en nabijgelegen breuken.

SodM beoordeling

Sodm vindt dat de risico's door de waterinjectie niet veranderend door de verhoging van de bovengrens van de gasdruk naar 150 bar. Daarmee volstaan de huidige voorwaarden in de omgevingsvergunning (kenmerk 14077186).

Omdat de afstand van de waterinjectie tot breuken en de maximumhoeveelheid dagelijks en jaarlijks te injecteren water onderdeel zijn van de seismisch risicoafweging adviseert SodM de minister om dit ook in het besluit op het opslagplan vast te leggen.

SodM adviseert om de volgende voorwaarden op te nemen:

- ***De herinjectie van uit het reservoir geproduceerd water mag maximaal 811 m³ per dag bedragen.***
- ***Waterinjectie mag alleen in daarvoor bestemde putten, waarvan het doorsnijdingspunt in de reservoirlaag op een afstand van tenminste 200 meter ligt van de centrale breukstructuur en de randbreuken van de Bergermeer gasopslag.***

G: Wat is de huidige inschatting van het seismisch risico?

Het seismisch risico is een inschatting op basis van de kans dat een beving optreedt en de impact die zo'n ondergrondse beving op de bovengrond heeft. De vraag over het seismisch risico splitst zich uit in twee onderdelen:

- 1) De maximaal realistische magnitude (M_{max}) van een mogelijke beving;
- 2) De maximale grondbeweging en de te verwachte schade door een beving.

Over maximale magnitude, opslingering bodem en bovengrondse schade

Bevingen van magnitude M=1,5-2,0, die net kunnen worden gevoeld, hebben doorgaans een grotere kans om op te treden maar een kleinere impact dan zwaardere bevingen. Het seismisch risico door zulke lichte bevingen is daarom relatief klein. Een zware beving zoals in 2001 met een magnitude van M=3,5 heeft doorgaans een veel kleinere kans om op te treden maar heeft een veel grotere impact door mogelijke schade. In de afweging van het seismisch risico wordt rekening gehouden met de kans op een beving, de magnitude van de 'realistisch sterkste beving' (M_{max}) en gevoeligheid van de ondiepe bodem voor grondbeweging (opslingering).

PGV staat voor 'Peak Ground Velocity' en is de snelheid van de grondbeweging die ontstaat nadat een beving het oppervlak bereikt. De opslingering aan het aardoppervlak kan veranderen door de samenstelling van de ondiepe grondlagen. Voor een berekening van de PGV wordt daarom naast de magnitude, plaats en diepte van de beving ook de samenstelling van de ondiepe bodem meegenomen. De snelheid van grondbeweging (PGV) wordt berekend voor een maximaal realistische magnitude en geeft een indicatie van de grondbeweging die aan het oppervlak in het slechtste geval zou kunnen optreden. Dit geeft een indicatie voor de mate van schade waar in het slechtste geval rekening mee zou moeten worden gehouden. De kans dat zo'n beving optreedt en dat die mate van schade optreedt is zeer klein.

1) De maximaal realistische magnitude (M_{max}) van een mogelijke beving

In de huidige aanvraag voor verhoging van de maximale reservoirdruk naar 150 bar concludeert TAQA dat het breukoppervlak dat kritisch wordt belast als gevolg van gasopslag kleiner is dan het kritisch belaste breukoppervlak als gevolg van gaswinning tot 2006. Op basis van de modelberekeningen en grootte van het kritisch belaste breukoppervlak komt TAQA tot een nieuwe inschatting van de maximale magnitude.

TAQA laat met de modellen zien hoe groot het breukoppervlak is waar de verhouding tussen de *schuifspanning* en *samendruwende gesteentespanning* de kritische grenswaarde bereikt. Internationaal is veel onderzoek gedaan hoe de grootte van dit breukoppervlak kan worden omgerekend naar de magnitude voor een aardbeving. De reviewer concludeert dat TAQA gegeven de huidige stand der techniek een gedegen geomechanische doorrekening van de Bergermeer gasopslag heeft gemaakt. Echter, één rekenmodel kan ook met alle huidige internationaal beschikbare technieken niet alle aspecten van het geomechanische en seismische gedrag geïntegreerd doorrekenen. In het gebruikte 3D geomechanische model wordt de veranderingen in gesteentespanning als gevolg van veranderingen in gasdruk wel geïntegreerd doorgerekend. Het model berekent daarmee welke delen van het breukoppervlak kritisch gespannen raken en kunnen gaan schuiven. De spanningscorrectie als gevolg van de verschuiving langs breuken wordt in het model niet geïntegreerd maar achteraf verrekend. De reviewer en SodM erkennen dit als een aanvaardbare en in principe gedegen aanpak.

De effecten van de door TAQA in het model toegepaste spanningscorrecties waren wel onderwerp van extra vragen (*referentie #3*). TAQA leverde daarna extra scenario's waarbij voor verschillende fases in het gebruik van het Bergermeer gasreservoir voor sommige scenario's de spanningscorrecties wel werd toegepast en voor een ander scenario niet. In de studie is onder andere een scenario doorgerekend waarbij geen spanningscorrectie is toegepast voor de aardbevingen die zijn opgetreden sinds 2010, nadat het Bergermeer veld in 2006 de laagste gasdruk bereikte (bijlage 1 van de aanvraag, *referentie #1*, '*Sensitivity: Seismic risk when no slip correction is applied after depletion*'). Hierbij merkt SodM op dat in dit scenario de gesteentespanningen wel zijn gecorrigeerd voor de vier bevingen in 1994 en 2001 en daarbij is inbegrepen de verplaatsing van gesteentespanningen naar de randen van het verschoven breukoppervlak. Het zijn deze randen, kleinere oppervlaktes van de centrale breuk, die kritisch gespannen kunnen raken door de verhoging van de gasdruk sinds 2010 en bij het gebruik van het reservoir als gasopslag sinds 2014.

Het scenario waarin geen spanningscorrectie is toegepast voor de periode sinds 2010 gaat volgens TAQA uit van het slechtste geval ('worst case'). Doordat de afname van de gesteentespanning in dit scenario niet is verrekend, maar steeds verder wordt opgebouwd, raakt het grootst mogelijk oppervlak van de breuk kritisch gespannen. De studie beschouwt twee mogelijke scenario's: het wel of niet toepassen van spanningsverlaging voor trillingen na 2009. Deze schatting van de maximale magnitude is gebaseerd op het meest negatieve van twee deze

scenario's (worst-case) doorgaan spanningsverlaging is toegepast voor trillingen na 2009. Aangezien het microseismisch meetnet sinds 2010 wel trillingen heeft gemeten op de centrale breuk tot een magnitude van $M=0,9$, is de gesteentespanning op de breuken waarschijnlijk wel afgenomen. TAQA komt op basis hiervan uit op een maximale magnitude van $M=2,2$ voor een beving. In de beantwoording van mijn extra vragen (vraag A, referentie #3) geeft TAQA aan dat $M=2,2$ als meest reële inschatting van de maximale magnitude uitkomt, op basis van de modelberekening.

In het huidig geldende opslagplan (2008) wordt beschreven dat bevingen niet zwaarder zullen zijn dan een magnitude van 3,9 op de schaal van Richter.

Beoordeling van de bepaling van de maximale magnitude

SodM vindt dat de huidige modelberekeningen hebben geholpen bij het inzicht dat de gesteentespanning is afgenomen op de grootste deel van de breuken. De berekening van de magnitude is echter gevoelig voor de wijze waarop de herverdeling van gesteentespanning langs de breuk wordt berekend en voor het vertalen van verschoven breukoppervlak naar magnitude van een beving. Deze rekenstappen kennen de nodige onzekerheden. Voor de M_{max} gaat SodM daarom nog uit van de in het huidige opslagplan gemaakte hoogste realistische inschatting voor de M_{max} van $M=3,9$. SodM zit hiermee aan de voorzichtige kant.

De geomechanische studie van TAQA laat zien dat het breukoppervlak dat door drukverandering tijdens de gasopslag kritisch belast wordt en kan gaan schuiven waarschijnlijk kleiner is dan het breukoppervlak dat tijdens de gasproductie kon bewegen. Echter de omrekening en kalibratie van het model naar maximale realistische magnitude kent een aantal grote aannames. Naar mijn inschatting werkt de onzekerheid over de mate van de spanningscorrectie (zie o.a. vraag 3-B, referentie #3) vooral door in de schatting van de reële maximale magnitude uit het 3D geomechanische model.

Dit betekent dat SodM het risico in ieder geval niet groter inschat dan tijdens de periode van gaswinning. Echter een herhaling van bevingen zoals in 2004 en 2001 met magnitudes tussen de 3,0-3,5 kan SodM niet uitsluiten, ook niet met de nieuwe inzichten uit de bij aanvraag ingediende studies. SodM onderschrijft daarom niet TAQA's inschatting dat de maximale reële magnitude beperkt is tot een magnitude van $M=2,2$. SodM blijft voor het aangevraagde drukbereik van 77-150 bar bij de eerdere inschatting voor de M_{max} van 3,9 op de schaal van Richter. SodM zit hiermee aan de voorzichtige kant.

2: De maximale grondbeweging en de te verwachte schade door een beving.

TAQA geeft een inschatting van de grondbeweging met een PGV van 5 mm/s op basis van hun inschatting van de maximale reële magnitude van $M=2,2$ (referentie #3). Bij deze magnitude wordt door TAQA alleen DS1 schade verwacht.

SodM blijft voor zijn beoordeling van de bovengrondse effecten door een beving met een maximaal realistische magnitude bij de eerdere inschatting voor de $M_{\max}$ van 3,9. In 2009 is door TNO en het KNMI in opdracht van meerdere in Nederland actieve operators een inventarisatie gemaakt van de mogelijke schade door geïnduceerde aardbevingen in Nederland (*referentie #20*). In 2011 is door op verzoek van TAQA door TNO en het KNMI een inschatting gemaakt van de te verwachten groundbeweging en schade boven het Bergermeerveld (*referentie #21*). De inschatting van de groundbeweging rond Bergermeer kwam toen uit op een PGV van 77 mm/s voor het epicentrum van de beving en 44 mm/s op een afstand van 3 km van het epicentrum voor een $M_{\max}$ van 3,9.

Vooralsnog is onduidelijk wat de meeste recente inzichten uit schades door bevingen in Groningen betekenen voor de te verwachten hoeveelheid schade door een beving elders in Nederland. TAQA houdt rekening met DS1 schade. Een herhaling van een beving met $M=3,5$ zoals in 2001 kan na de beoordeling van de huidige geomechanische modelberekeningen niet worden uitgesloten. Voor SodM blijft de in 2001 opgetreden schade (*referentie #21*) een indicatie waarmee ook voor de toekomst rekening mee moet worden gehouden. In de meeste gevallen was toen sprake van lichte niet-constructieve schade (schade categorie DS1). In enkele gevallen was sprake van lichte constructieve schade (schade categorie DS2), waarbij gedacht moet worden aan haarscheurtjes in constructieve delen. Met de huidige kennis kan SodM daarom ook voor de toekomst lichte constructieve schade (DS2 schade) aan enkele gebouwen niet uitsluiten.

Met de kennis van de bevingen in 1994 en 2001 schat SodM de risico's niet lager in, zoals TAQA uit de laatste modelberekeningen concludeert, maar schat SodM de risico's van een aardbeving dus ook niet hoger in dan voorheen.

Ik adviseer de minister om TAQA te vragen een inschatting te maken van de te verwachten hoeveelheid DS1 en DS2 schade. Net als SodM heeft gevraagd aan andere operators, adviseert SodM de minister om TAQA te vragen de meeste recente inzichten door bevingen in Groningen te overwegen en te beoordelen wat dit betekent voor de te verwachten hoeveelheid schade in geval van een aardbeving met een sterkte van $M_{\max} = 3.9$ voor Bergermeer. Betrek in deze inschatting ook de zwakke bouwtypes (SBR categorieën 2 en bouwkundige staat gevoelig volgens de SBR richtlijn A uit 2017). Het uitgangspunt van de inschatting is dat het een reële bovengrens vormt van de maximaal te verwachten schade.

SodM adviseert om de volgende voorwaarde op te nemen:

- ***TAQA dient binnen 3 maanden na de bekendmaking van het instemmingsbesluit een rapport in met inschatting van de te verwachten maximale hoeveelheid schade, die ten genoegen van de Inspecteur-Generaal der Mijnen moet zijn.***

H: Is de risicobeheersing actueel en doeltreffend volgens de laatste inzichten?

TAQA heeft de risicobeheersing van de seismiciteit en van de waterinjectie beschreven in twee plannen op basis waarvan wordt gemonitord en aan SodM wordt gerapporteerd.

1) Het seismisch risicobeheersplan

TAQA heeft op dit moment een functionerend seismisch risicobeheerssysteem welke is beschreven in een plan (*referentie #14*) dat op 31 maart 2011 is ingediend en beoordeeld door de Inspecteur-generaal der Mijnen per brief van 13 mei 2011 (kenmerk 11068740). In dit advies beoordeelt SodM of het huidige risicobeheersplan en het daarin beschreven risicobeheerssysteem past bij de huidige inschatting van de seismische risico's, en of een actualisatie van het plan nodig zijn.

TAQA heeft het huidige seismisch risicobeheerssysteem in 2011 in gebruik genomen. In dit beheerssysteem is vastgelegd welke acties genomen zullen worden. Maandelijks wordt door TAQA conform het plan aan SodM gerapporteerd. Het plan beschrijft de acties die worden genomen bij een bepaalde mate van seismische activiteit. Er is gekozen voor de zogenaamde 'verkeerslicht' methode op basis van een combinatie van het aantal bevingen in de voorgaande twaalf maanden en de waargenomen magnitudes. Deze methode wordt door SodM bij het toezicht op ondergrondse risico's ook elders toegepast.

Wel vraagt het seismisch risicobeheersplan om een actualisatie, waarbij in ieder geval de volgende verbeterpunten dienen te worden meegenomen:

- Reeds bij bevingen vanaf magnitude $M=1,5$ op de schaal van Richter, welke kunnen worden gevoeld, dient TAQA communicatie te verzorgen naar stakeholders waaronder de betrokken gemeente en omwonenden.
- TAQA dient voor de uitvoering van het plan vooraf het communicatieprotocol af te stemmen met de veiligheidsregio en decentrale overheden. Dit communicatieprotocol dient onderdeel te zijn van het te actualiseren risicobeheersplan voor Bergermeer.
- TAQA dient de duiding van de geactualiseerde inschatting van de hoeveelheid te verwachten schade bij een M_{max} beving in het risicobeheersplan te verwerken.

2) Het waterinjectie management protocol

TAQA heeft op dit moment een functionerend waterinjectie management protocol (*referentie #17*) voor waterinjectie in put BGM-03B. Dit protocol is op 28 april 2016 ingediend om invulling te geven aan voorwaarde III-1 van de omgevingsvergunning (2015, kenmerk 15045068). In de omgevingsvergunning zijn de voorwaarden voor de waterinjectie vastgelegd. Eén van de voorwaarden is een verplichting tot een jaarlijkse rapportage van de injectieactiviteiten. De Inspecteur-Generaal der Mijnen heeft per brief van 13 juni 2016 (kenmerk 16087493) over het protocol met een ten genoegen aan de minister geadviseerd.

De minister heeft vervolgens op 16 september 2016 het besluit genomen tot goedkeuring van het waterinjectie management protocol voor waterinjectieput BGM-03B. Het opereren volgens een waterinjectie management protocol is dus verankerd in de omgevingsvergunning, waarin de maximale dagelijkse injectievolumes en afstand tot breuken beschreven staan.

Bij de actualisatie van het seismisch risico beheersplan is het wel van belang dat opnieuw goed wordt gelet op de juiste aansluiting op het waterinjectie management protocol (2015, kenmerk 15045068, Voorwaarde III-1) om aanpassingen in het waterinjectie management protocol te maken op basis van actuele inzichten. Binnen de ruimte die de voorwaarde van de huidige omgevingsvergunning biedt adviseert SodM de minister om TAQA te vragen om het waterinjectie management protocol te actualiseren.

SodM adviseert om de volgende voorwaarden op te nemen:

- ***TAQA opereert de gasopslag met een functionerend en door de Inspecteur-Generaal der Mijnen goedgekeurd seismisch risicobeheersplan. In dit plan zijn de maatregelen vastgelegd die TAQA neemt om bodembeweging te voorkomen of te beperken op basis van de metingen die met het (micro)seismisch monitoringssysteem worden verkregen.***
- ***TAQA dient binnen 6 maanden na de bekendmaking van het instemmingsbesluit een aangepast seismisch risicobeheersplan in, ten genoegen van de Inspecteur-Generaal der Mijnen, met daarin de aanpassingen van het verkeerslichtensysteem, de beheersmaatregelen en het communicatieprotocol.***
- ***TAQA Onshore B.V. rapporteert jaarlijks voor 31 december, ten genoegen van de Inspecteur-Generaal der Mijnen, de meetresultaten van het seismisch monitoringssysteem en de interpretatie daarvan volgens de actuele internationale normen.***
- ***Deze rapportage moet ook bevatten: de maandelijkse berekende gemiddelde druk van het reservoir en van de individuele compartimenten, de maandelijkse productie- en injectievolumes en de vergelijking daarvan met de meest recente history match van het reservoirmodel.***

Conclusie van SodM ten aanzien van het seismisch risico

Voor de gasopslag Bergermeer oordeelt SodM dat rekening gehouden moet worden met maximale magnitude van $M=3,9$. De kans op een beving van deze magnitude is klein.

TAQA heeft met geomechanische studies voldoende aannemelijk gemaakt dat dat het grootste deel van de oostelijke randbreuk zeer waarschijnlijk niet kritisch gespannen raakt. Ook niet bij een verhoging van de bovengrens van reservoirdruk naar 150 bar. Dit betekent dat microseismiciteit kan optreden op de oostelijke randbreuk, maar dat het risico van een grotere beving op de oostelijke randbreuk beperkt is. Het seismische risico wordt daarom bepaald door de centrale breuk en niet door de oostelijke randbreuk.

Het is op basis van de huidige modelstudies voldoende aannemelijk dat een verhoging van de bovengrens naar 150 bar geen verhoging van het seismisch risico betekent. TAQA heeft voldoende duidelijk gemaakt dat de centrale breuk en de ondergrens van het drukbereik van 77 bar ook naar huidig inzicht bepalend zijn voor het seismisch risico. Voor een klein breukoppervlak neemt de mogelijkheid van verschuivingen en daarmee bevingen wel toe bij een drukverhoging naar 150 bar. Dit beïnvloedt het seismisch risico niet omdat het oppervlak dat bij 150 bar kritisch kan worden een stuk kleiner is dan het oppervlak dat bij de ondergrens van 77 bar kritisch kan worden. De aanvraag heeft deze conclusies met de onderliggende studies voldoende duidelijk kunnen maken.

SodM vindt dat de eerder gemaakte inschatting van de maximaal realistische magnitude van $M_{max}=3,9$ (opslagplan 2008) niet naar beneden kan worden bijgesteld. Het risico schat SodM dus ook niet hoger in dan voorheen. Voor het naar beneden bijstellen van de M_{max} biedt de studie en bredere inschatting van de huidige kennis niet voldoende basis. SodM zit hiermee aan de veilige kant. SodM vindt dat voor het aangevraagde drukbereik en op basis van de meest actuele kennis de kans op deze M_{max} zeer klein. Met de huidige kennis kan SodM ook voor de toekomst lichte constructieve schade (DS2 schade) aan meerdere gebouwen niet uitsluiten. Deze schadeverwachting sluit aan bij de risico's voor andere gasvelden in Nederland waaruit gewonnen wordt of waarin gas wordt opgeslagen.

SodM adviseert de minister om de gemiddelde druk te begrenzen tot een ondergrens van 77 bar en tot een bovengrens van 150 bar over het hele reservoir. SodM vindt dat met het huidige inzicht van het reservoir de aangegeven drukbegrenzing voldoende waarborging geeft en daarmee zijn de ingeschatte seismische risico's aanvaardbaar, mits TAQA het risicobeheersplan op de aangegeven punten verbetert.

4. Nadelige gevolgen voor het milieu

Bij de beoordeling van de nadelige gevolgen voor het milieu is gekeken naar de risico's op het verspreiden van het aardgas dat in de ondergrond wordt opgeslagen. Een operator dient de risico's te hebben geïnventariseerd en maatregelen te hebben getroffen om de verspreiding van stoffen uit het reservoir te helpen voorkomen. Deze verspreiding zou kunnen optreden via de verbuizing van de put of via de afsluitende gesteentelagen vanuit het ondergrondse reservoir.

Advisering over andere nadelige gevolgen voor het milieu vindt plaats bij andere vergunningsaanvragen dan dit opslagplan. In de omgevingsvergunning (2015, kenmerk 15045068) is de beoordeling gemaakt over emissies ten gevolgen van het afblazen of affakkelen van koolwaterstoffen en over het gebruik van mijnbouwhulpstoffen. Met de huidige aanvraag verwacht SodM ten aanzien van deze emissies geen veranderingen omdat er geen wijzigingen plaatsvinden aan de bestaande putten, bestaande bovengrondse installaties en de huidige vergunde productie- en injectiecapaciteit. Op 12 juli 2018 heeft SodM aan de minister geadviseerd in het kader van de omgevingswet dat als gevolg van beoogde aanpassing geen nadelige gevolgen voor het milieu zijn te verwachten zoals bedoeld in artikel 7.17 van de wet milieubeheer. SodM verwijst hiervoor naar het nieuwe MER beoordelingsbesluit van 2018ⁱ.

De volgende milieufwegasingen worden apart toegelicht:

- A. Beoordeling van de waterinjectie
- B. Risico's op de verspreiding van de stoffen vanuit de put
- C. Risico's op de verspreiding van de stoffen vanuit het reservoir

A: Beoordeling van de waterinjectie

Vanuit de puttenlocatie Bergermeer wordt uit gas uit de ondergrondse opslag geproduceerd. Per buisleiding wordt het gas naar de Boekelermeer locatie getransporteerd. Water dat bij de productie van gas wordt meegeproduceerd wordt gescheiden van het gas bij de gasbehandeling op de Boekelermeer locatie. De Boekelermeer locatie verwerkt ook productiewater uit Piekgasinstallatie (PGI) Alkmaar. Het water wordt vanaf de Boekelermeer locatie met een buisleiding naar de putlocatie Bergermeer getransporteerd en in de daarvoor bestemde waterinjectieput BGM-03B geïnjecteerd. Daarnaast wordt ook meegeproduceerd formatiewater uit de gasvelden binnen de Bergen winningsvergunning in het Bergermeer veld in de waterinjectieput BGM-03B geïnjecteerd.

Deze verwerking van het water, het transport en injectie is in de omgevingsvergunning geregeld (2015, kenmerk 15045068). Afgezien van de gevolgen van de waterinjectie voor het seismisch risico bij de drukverhoging van

ⁱ Kenmerk DGETM-EO / 18206948, 18-10-2018, M.e.r.-beoordelingsbesluit uitbreiden van de opslagcapaciteit Gasopslag Bergermeer.

de bovengrens naar 150 bar, zijn de effecten van de waterinjectie voor het milieu in 2015 beoordeeld.

B: Risico's op verspreiding van stoffen vanuit de put

Een put is integer wanneer de put voldoende barrières heeft om lekkage vanuit de put te voorkomen. Deze barrières zijn deels van fysieke aard en deels procedureel in de vorm van monitoring, controles en onderhoud.

De fysieke barrières zijn een onderdeel van het put-ontwerp en worden gedurende de constructie uitvoerig getest en tijdens productie actief gecontroleerd en onderhouden om de integriteit van de put te waarborgen. Bij aanleg van de putten zijn de putverbuizingen getest tot een druk van 240 bar. Op basis hiervan zijn de putten van de gasopslag nog steeds geschikt voor de injectiedrukken die nodig zijn bij de drukverhoging van de maximale gemiddelde reservoirdruk naar 150 bar. TAQA blijft daarmee ruim binnen de drukbegrenzing waarvoor de putten zijn getest.

TAQA beheerst de integriteit van de putten met hun Well Integrity Management Systeem (WIMS). Onderdeel van deze WIMS, als procedurele barrière, is het controleren en beheersen door TAQA van de annulaire drukken. SodM houdt toezicht op de beheersing van de integriteit van putten, onder andere door jaarlijkse inspecties. De in 2019 uitgevoerde inspectie heeft aangetoond dat de integriteit van de Bergermeer gas opslag putten goed beheerst wordt. Hiermee wordt voorkomen dat stoffen vanuit de put zich buiten het reservoir kunnen verspreiden.

C: Risico's op de verspreiding van de stoffen vanuit het reservoir

Volgens het mijnbouwbesluit (Artikel 26, onderdelen d en e) moeten de risico's zijn geïnventariseerd ten aanzien van de verspreiding van de stoffen die in de ondergrond worden opgeslagen en van maatregelen die worden getroffen om deze risico's van verspreiding te minimaliseren.

Het opslagplan (2008) beschrijft de manier waar het opgeslagen gas door de overliggende gesteentelagen wordt afgesloten. Het plan verwijst naar een geologisch rapport over de afsluitende gesteentelagen (referenties #10, #11 en #12). Toelichting over het risico op ondergrondse verspreiding wordt gegeven in een extra notitie (referentie #13). De afsluitende gesteentelaag welke aanwezig is boven en tevens langs de begrenzendende breukvlakken aan de zijkanten van het reservoir bestaat onder andere uit kleilagen en steenzout. De druk in het reservoir blijft met de aangevraagd 150 bar ruim onder de natuurlijke (initiële) gasdruk van 228 bar die het reservoir had voor aanvang van de gaswinning. De gasdruk die schade zou kunnen toebrengen aan de integriteit van het afsluitende gesteentelagen is overigens een stuk hoger dan de initiële gasdruk van 228 bar. De gemiddelde gasdruk van 150 bar en de lokaal iets hogere drukken bij de injectieputten blijven daarmee ruim onder deze druklimiet.

Bij de beoordeling heeft SodM recente wijzigingen in de gegevens van de geologische structuur van het gasreservoir meegenomen.

In bijlage IV van de 3D geomechanische modelstudie analyseert TAQA ook de integriteit van de afsluitende laag in relatie tot de waterinjectie (bijlage 1, *referentie #2*). Drie risico's worden benoemd: opwaartse groei van een scheur, injectie buiten het bedoelde interval, lekkage naar de boven het reservoir gelegen gesteentelagen. In de modellering wordt nagerekend of de drukverhoging naar 150 bar in het gasreservoir zou kunnen leiden tot een verandering van de risico's voor waterinjectie in de watervoerende laag. De gewijzigde gesteenteparameters die voor de geomechanische modellering zijn gebruikt, vormen ook de basis voor de modellering van scheurvorming door waterinjectie.

Beoordeling SodM

De relevante onderzoeken beschrijven op basis van de bovengenoemde onderbouwing in voldoende mate de risico's van de verspreiding van stoffen en de natuurlijke dan wel operationele barrières om dit te verhinderen. Opgemerkt kan worden dat deze identificatie niet wordt gegeven in één overzichtelijke inventarisatie. Daarmee blijven de risico's voldoende geïdentificeerd ook voor de aangevraagde drukverhoging naar 150 bar en zijn de fysieke en procedureel barrières voldoende die door TAQA zijn geïmplementeerd.