

Risico-inventarisatie seismiciteit door waterinjectie in het Rotterdam olieveld



NAM

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
Waterinjectie in het Rotterdam olieveld.....	3
Historisch overzicht waterinjectieputten Rotterdam olie.....	4
Risico op seismische activiteit door waterinjectie	6
1. Vermijd injectie in actieve breuken.....	6
Richting van de scheurgroei	7
Scheurlengtes	7
2. Voorkom dat de reservoirdruk te snel toeneemt	11
3. Installeer een seismologisch netwerk	11
4. Stel een protocol op waarin maatregelen zijn aangegeven als een seismische activiteit wordt gemeten	12
5. Wees voorbereid op te nemen maatregelen	12
Mogelijk seismisch risico door afkoeling van de reservoirlaag en breuken.....	13
Evaluatie: Te verwachten gesteentegedrag en breukgedrag bij spanningsveranderingen	14
Conclusie	15

Samenvatting

Deze notitie is een aanvulling op hoofdstuk 8 van het ingediende winningsplan Rotterdam olie dd 1 juli 2020¹. In het ingediende winningsplan wordt het seismisch risico beschreven dat veroorzaakt wordt door de olieproductie en daarmee gepaarde drukdaling.

Naast productie van olie vindt er ook waterinjectie plaats en ook deze activiteit zal leiden tot drukveranderingen en temperatuurveranderingen die mogelijk kunnen leiden tot spanningsveranderingen en aardbevingen. Deze notitie inventariseert kwalitatief de kans dat deze twee mechanismes kunnen leiden tot aardbevingen. De conclusie is dat de kans op bevingen klein is op basis van de volgende observaties:

- Zuid-Holland is een gebied waar nog nooit aardbevingen zijn waargenomen terwijl er decennia activiteiten (gaswinning, waterinjectie en geothermie) in de ondergrond plaatsvinden die significante spanningsveranderingen veroorzaken. Het gebied lijkt seismisch minder gevoelig voor spanningsveranderingen dan bv Noord-Nederland.
- De scheurvorming die gepaard gaat met de injectie is beperkt en ligt ver van de bestaande breuken. Daardoor is de kans klein dat een scheur een breuk raakt. Daarmee is de kans ook klein dat de poriedruk in de breuk relatief toeneemt wat een aardbeving zou kunnen veroorzaken.
- De drukverschillen in het Rotterdam olieveld zijn beperkt dankzij de waterinjectie.
- De koeling door de het geïnjecteerde water is beperkt en is minder dan in geothermische projecten waar tot dusver ook geen bevingen zijn waargenomen. De afgekoelde zones in het veld zijn beperkt van omvang.
- Het reservoirgesteente uit het Onder-Krijt in Rotterdam is te karakteriseren als een zwakke, kleiige zandsteen. In dergelijke gesteentes is het aannemelijk dat een groot deel van de geïnduceerde spanningen wordt gerelaxeerd via plastisch gedrag van het gesteente en de bestaande breuken. Mogelijke breukreactivatie zal dus eerder geleidelijk en a-seismisch verlopen dan plotseling en seismisch.

Ondanks dat het risico klein is, is het belangrijk dat voor Rotterdam olie een helder seismisch risicomanagement geldt. Daarom is het Rotterdam olieveld toegevoegd aan het algemene seismisch risicobeheersplan² van NAM dat is goedgekeurd door het Staatstoezicht op de Mijnen. Hierin worden de acties genoemd die NAM zal uitvoeren na een observatie van een beving met een bepaalde magnitude.

Waterinjectie in het Rotterdam olieveld

Ter ondersteuning van de olieproductie in de Holland Greensand en De Lier Sandstone voorkomens vindt waterinjectie in het reservoir plaats. Deze waterinjectie voorkomt ook verdere bodemdaling. Voor waterinjectie wordt productiewater bijgemengd met gezuiverd rioolwater en onder druk geïnjecteerd in de diepe ondergrond. Bij het injecteren zal beperkte scheurvorming in het reservoirgesteente plaatsvinden. Injectie in het IJsselmonde Sandstone voorkomen vindt plaats onder normale initiële reservoirdruk zonder scheurvorming en dient alleen voor injectie van overtollig injectiewater. Voor het Rotterdam olieveld, waar in het Greensands en het De Lier voorkomen injectie plaatsvindt in de injectieputten onder druk hoger dan de initiële druk, geldt daarnaast dat de scheurgroei rondom de injectieputten gemonitord wordt.

¹ Aanvraag Instemming Winningsplan Rotterdam, 1 juli 2020, NAM document

² [nam-seismic-risk-for-small-fields-backgrounds-risk-interpretation-and-risk-management-plan-v2-1.pdf](#)

In de volgende paragrafen wordt eerst een historisch overzicht gegeven van de waterinjectoren in het Rotterdam veld, gevolgd door een beschrijving van het seismisch risico door waterinjectie.

Historisch overzicht waterinjectieputten Rotterdam olie

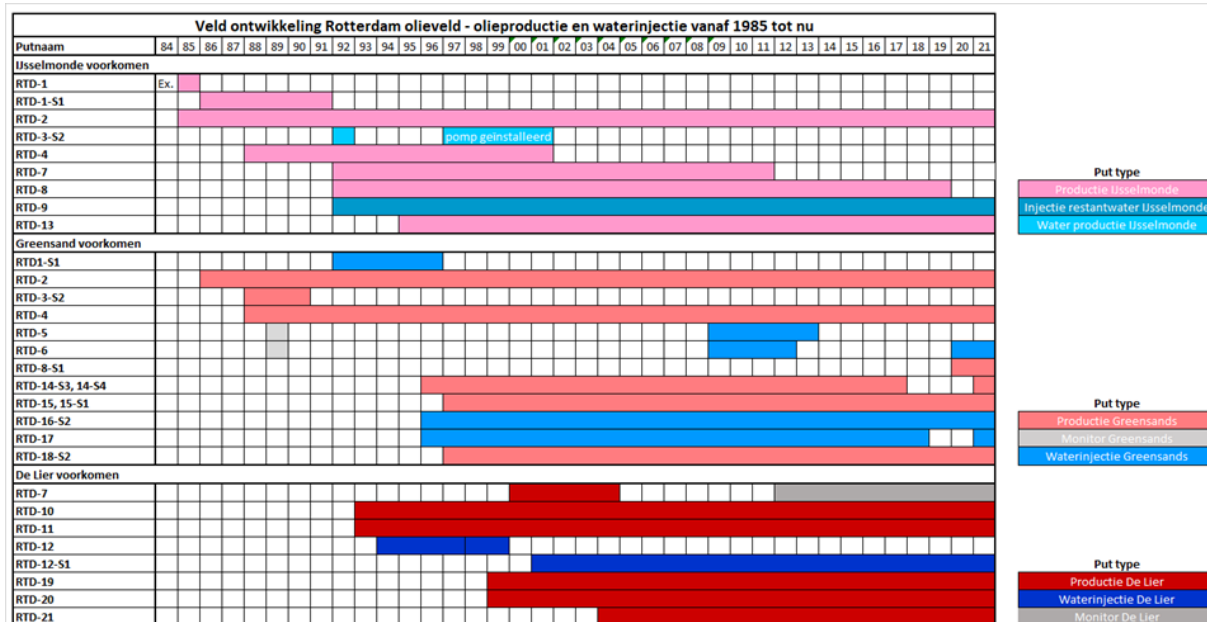
De injectie van het productiewater dat vrijkomt bij de oliewinning in Rotterdam is begonnen in februari 1992. De eerste injectieput, RTD-9, injecteert geproduceerd water terug in het IJsselmonde reservoir, buiten de omtrek van het IJsselmonde olieveld. Tegelijkertijd is er in RTD-1-S1 begonnen met waterinjectie in het Greensand voorkomen, deze put heeft geïnjecteerd tot 1996.

Voor het ondersteunen van olieproductie uit het Greensand voorkomen is het vereist om water te injecteren om drukval te voorkomen. Voor dit voorkomen wordt water geïnjecteerd dat geproduceerd is uit de verschillende voorkomens van het Rotterdam olieveld. Dit water wordt sinds 2008 aangemengd met gezuiverd rioolwater. De putten die gebruikt zijn voor injectie in het Greensand voorkomen waren RTD-1-S1 die vanaf 1992 tot 1996 geïnjecteerd heeft. Daarna is RTD-16-S2 geboord in 1996 als horizontale injectieput, aan de zuidwest kant van het veld en dicht bij de rand van het olieveld. Deze put ligt ver weg bij het centrale breuksysteem in het noordoosten van het veld (zie Figuur 5).

In 2009 zijn RTD-5 en RTD-6 geschikt gemaakt voor injectie, om de drukval in het noorden van het veld te verminderen. RTD-5 en RTD-6 hebben geïnjecteerd tot 2013 en 2012, zijn vervolgens ingesloten, waarna RTD-6 in 2020 opnieuw is opgestart als injectieput. Daarnaast is RTD-17 gebruikt voor injectie in het noordoostelijk deel van het veld vanaf 1996, waarbij deze put productie uit RTD-14-S3 en RTD-14-S4 ondersteunt.

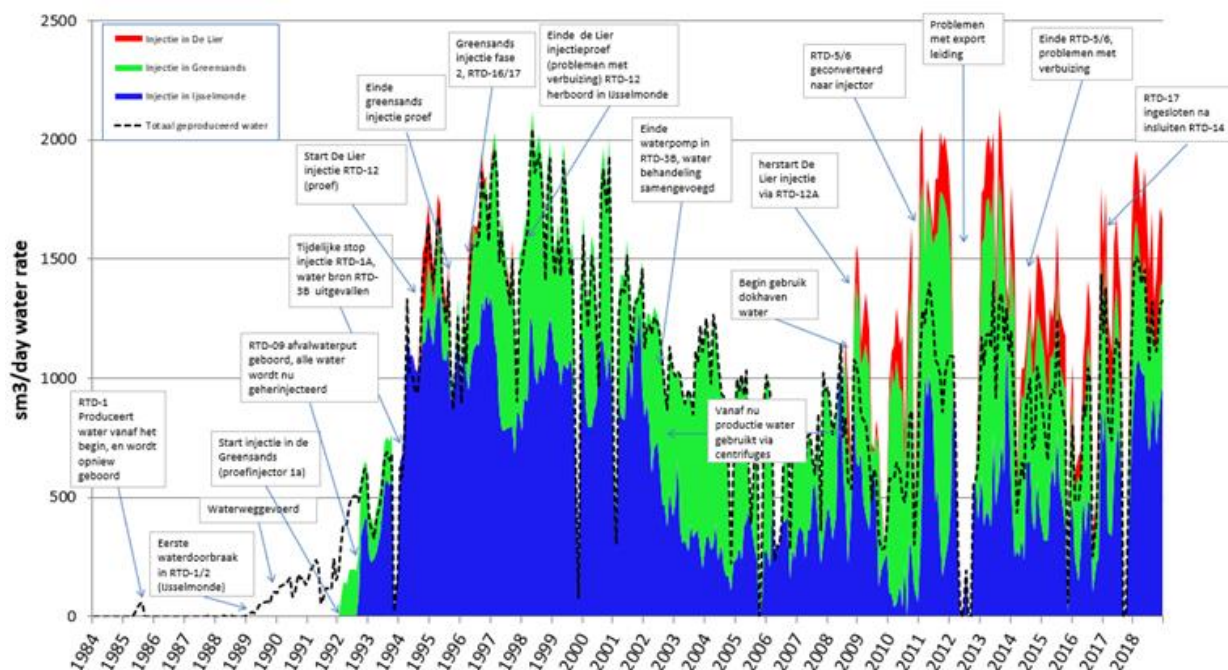
RTD-5 weer geschikt maken voor injectie wordt overwogen, en vindt mogelijk plaats in of na 2022.

Voor de productie van het De Lier voorkomen is een injectieput opgestart in 1993, eerst in RTD-12. Vervolgens is in 2001 het voorkomen in deze put afgesloten en is vanaf een ondiepere positie in de put geboord naar de locatie van RTD-12-S1 (S1 is “side track 1”). De RTD-12-S1 put ligt dieper in het De Lier olievoorkomen, meer naar de rand toe, verder weg bij de geologische breuken in het veld. De RTD-12(-S1) put ondersteunt de productie uit putten RTD-10 en RTD-11, welke eveneens geboord zijn in 1993 en die nog steeds produceren. Verder produceren ook de putten RTD-19, RTD-20 en RTD-21 uit het De Lier voorkomen. Put RTD-3-S2 is in 2020 omgewerkt naar een injectieput voor het De Lier voorkomen. Deze injector is in 2021 nog niet in gebruik genomen. Het gebruikte injectiewater voor het De Lier voorkomen is gelijk aan het injectiewater voor het Greensands voorkomen.



Figuur 1: overzicht van de injectie- en de productieputten in het Rotterdam olieveld en de periode dat de putten actief waren.

De totale hoeveelheid geïnjecteerd water ligt rond de 1000-2000 m³ per dag, zoals aangegeven in het Winningsplan van Rotterdam Olie. Figuur 1 geeft een overzicht van de putten in het Rotterdam veld, hun functie en de periode dat ze actief waren. Figuur 2 geeft een overzicht van de injectiesnelheid per dag over de tijd.



Figuur 2: Waterinjectie in het Rotterdam olieveld over de gehele productieperiode. Met annotatie van de wijzigingen.

Risico op seismische activiteit door waterinjectie

Wereldwijd is gebleken dat waterinjectie onder bepaalde omstandigheden aardbevingen kan veroorzaken. In Nederland wordt door NAM al tientallen jaren water geïnjecteerd op diverse locaties (bv. Borgsweer, Pernis, Rotterdam, Schoonebeek, Twente) zonder dat er aardbevingen worden geregistreerd. Er is in Nederland slechts één geval bekend waarbij vermoedelijk door waterinjectie een aardbeving werd geïnduceerd of “getriggered”. Dit was in november 2009 nabij Weststellingwerf in een gasveld van Vermilion. Deze beving had een kracht van 2,8 op de schaal van Richter.

In Zuid-Holland zijn nooit bevingen geregistreerd. Niet gedurende de gasproductie uit de velden in de regio, die is opgestart in 1982, maar ook niet tijdens de olieproductie die is gestart in de regio in de jaren '50 van de vorige eeuw. Ook zijn er tot nu toe in de geothermie projecten in Zuid-Holland, die veel afgekoeld water injecteren in dezelfde of vergelijkbare gesteentelagen, geen bevingen veroorzaakt. Waterinjectie in Rotterdam is opgestart in 1992, maar heeft nooit geleid tot bevingen. De eerste waterinjectie in West-Nederland vond plaats in Ridderkerk in 1963.

Het risico lijkt op basis van bovenstaande waarnemingen beperkt maar dient toch nader geïnventariseerd te worden. Ondanks dat het risico klein is vindt NAM dat er altijd een beheersplan moet liggen op het moment dat er toch een beving wordt waargenomen.

Om het risico van seismische activiteit, die veroorzaakt zou kunnen worden door waterinjectie, te beheersen wordt op advies van Staatstoezicht op de Mijnen het 5-stappenplan van Zoback³ gevolgd zoals ook wordt gedaan in het beheersen van het seismisch risico in de waterinjectie Twente:

1. Vermijd injectie in actieve breuken
2. Voorkom dat de reservoirdruk te snel toeneemt
3. Installeer een seismologisch netwerk
4. Stel een protocol op waarin maatregelen zijn aangegeven als een seismische activiteit wordt gemeten
5. Wees voorbereid op te nemen maatregelen

Naast deze punten is ook bekend dat koeling door waterinjectie zorgt voor spanningsveranderingen in het reservoir en op breuken die beïnvloed worden door de afgekoelde zone. Ook dit punt zal hieronder nader worden uitgewerkt.

1. Vermijd injectie in actieve breuken

De breuken die de reservoirlagen doorsnijden in het Rotterdam olieveld zijn inactief, de breuken lopen niet ver door in de overliggende stratigrafie. De breukzone die het langst actief is geweest is de grote centrale breukzone in het veld. Deze breukzone bevat een breuk die doorloopt tot onder de Rupel klei. Deze klei is afgezet in het vroeg-Oligoceen, zo'n 34 miljoen jaar geleden. Dit betekent dat deze breuk al 34 miljoen jaar niet meer actief is geweest. De observatie van aardbevingen in het Groningen veld en andere velden leidt echter tot de conclusie dat ook inactieve breuken gereactiveerd kunnen worden waarbij aardbevingen kunnen ontstaan. Bij injectie dient daarom te worden voorkomen dat de poriedruk in een breukzone relatief toeneemt t.o.v. de druk in het omliggende gesteente. Deze situatie kan optreden wanneer het gesteente slecht doorlatend is relatief t.o.v. de doorlatendheid

³ Zoback, M.D. (2012) Managing the Seismic Risk Posed by Wastewater Disposal. ARMA e-NEWSLETTER SPRING 2012, Volume 1, Issue 2 Spring 2012.

van de breuk. Dit is niet het geval omdat het gesteente in Rotterdam relatief goed doorlatend is, waardoor de scheurgrootte beperkt wordt. Dit gegeven kan gezien worden als een barrière in dit mogelijke risicoscenario.

Een tweede bedreiging voor dit risicoscenario is wanneer er direct contact zou ontstaan tussen een breuk en een injectieput, danwel direct of via een scheur. Mogelijkerwijs kan dan het poriedruk lokaal in een bestaande breuk relatief t.o.v. de druk in het gesteente groter worden.

Om dit te voorkomen dienen de putten op voldoende afstand van de bestaande breuken te liggen, waarbij tevens moet worden meegewogen of de scheur groeit in de richting van de breuk of dat de scheur evenwijdig groeit met de breukrichting.

Figuur 5 toont de ligging van de waterinjectieputten in het Greensands voorkomen van het Rotterdam olieveld, met daarin in blauw aangegeven de ligging van de centrale breuk(en). In Tabel 1 staan de gemeten afstanden van de injectieputten tot aan de centrale breuk genoemd, evenals de afstanden naar de dichtstbijzijnde kleinere breuk. Figuur 3 en Figuur 4 tonen de kaarten van het IJsselmonde voorkomen en het De Lier voorkomen van het Rotterdam olieveld.

Richting van de scheurgroei

Het regionale spanningsveld (richting van de maximale horizontale spanning) in Rotterdam is volgens de beperkte metingen⁴ NW-ZO. De breukrichtingen in het veld zijn NW-ZO tot N-Z. Over het algemeen zullen scheuren dus groeien in richting evenwijdig aan bestaande breuken, of schuin, met een kleine hoek naar de bestaande breuken. Deze spanningssituatie is dus gunstig om te voorkomen dat scheuren snel naar een breuk toegroeien en kan dus ook als een barrière worden gezien voor het risicoscenario.

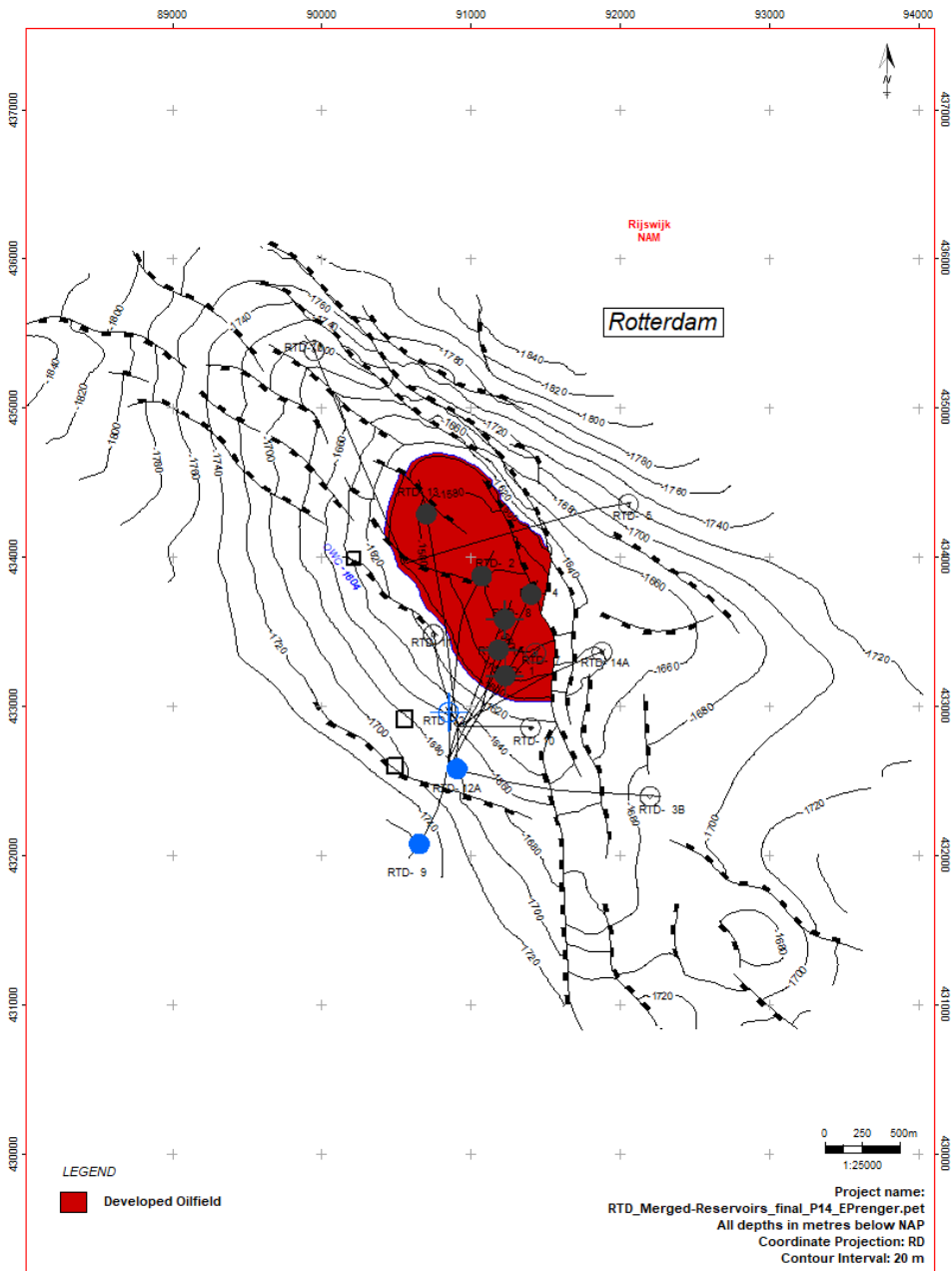
Scheurlengtes

Uit metingen in de put kan de oppervlakte van een scheur worden afgeleid. Deze hoogte van de scheur die volgt uit de metingen worden jaarlijks gerapporteerd aan SodM⁵. De lengte volgt uit een aanname van de aspect ratio van de scheur. In de jaarlijkse rapportage wordt deze op 1 gesteld wat betekent dat de lengte hoogte verhouding 1 op 1 is, wat gedaan wordt om de maximale hoogte conservatief vast te stellen. Een meer waarschijnlijke ratio is bijvoorbeeld 1:2. Bij een aspect ratio van $h:l = 1:2$ wordt de halflengte ongeveer 25 m in het maximale geval van RTD-16-S2. Op de schaal van de kaarten zoals getoond in Figuur 3 t/m Figuur 5 betekent dit dat de scheuren niet groter zijn dan de straal van de blauwgekleurde stippen.

Op basis van bovenstaande observaties wordt aangetoond dat er geen injectie plaatsvindt in actieve breuken. Ook vindt er geen injectie plaats in niet actieve breuken vanwege de afstanden van de injectoren tot de breuken en de beperkte lengtes van de breuken.

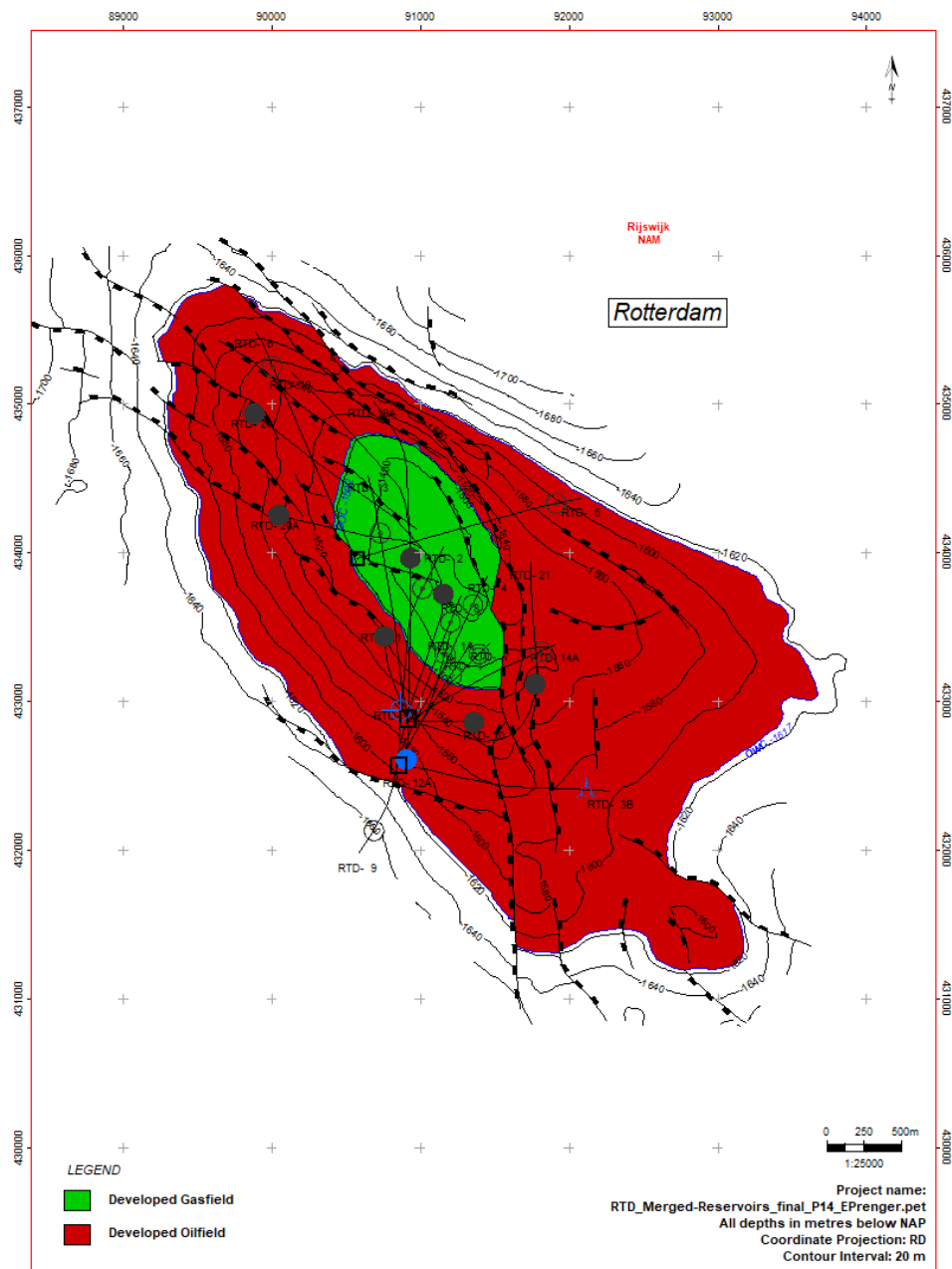
⁴ Mechelse (2017) The in-situ stress field in the Netherlands: Regional trends, local deviations and an analysis of the stress regimes in the northeast of the Netherlands. Master Thesis TU-Delft

⁵ Jaarlijkse waterinjectie rapportage.



 NAM	Rotterdam Field Top IJsselmonde Sandstone (KNNSY)				
	Nederlandse Aardolie Mij BV	Project: ARPR	Author: Land Asset	Date: Jun 2016	Draw. No.: EP201606208431003

Figuur 3: Top structuurkaart van IJsselmonde voorkomen met daarin de locaties van de injectieputten (in blauw) en de breuken.



 NAM	Rotterdam Field Top De Lier Member (KNNSL)				
	Nederlandse Aardolie Mij BV	Project: ARPR	Author: Land Asset	Date: Jun 2016	Draw. No.: EP201606208431002

Figuur 4: Top structuurkaart van het De Lier voorkomen met daarin de locaties van de injectieputten (in blauw) en de breuken.

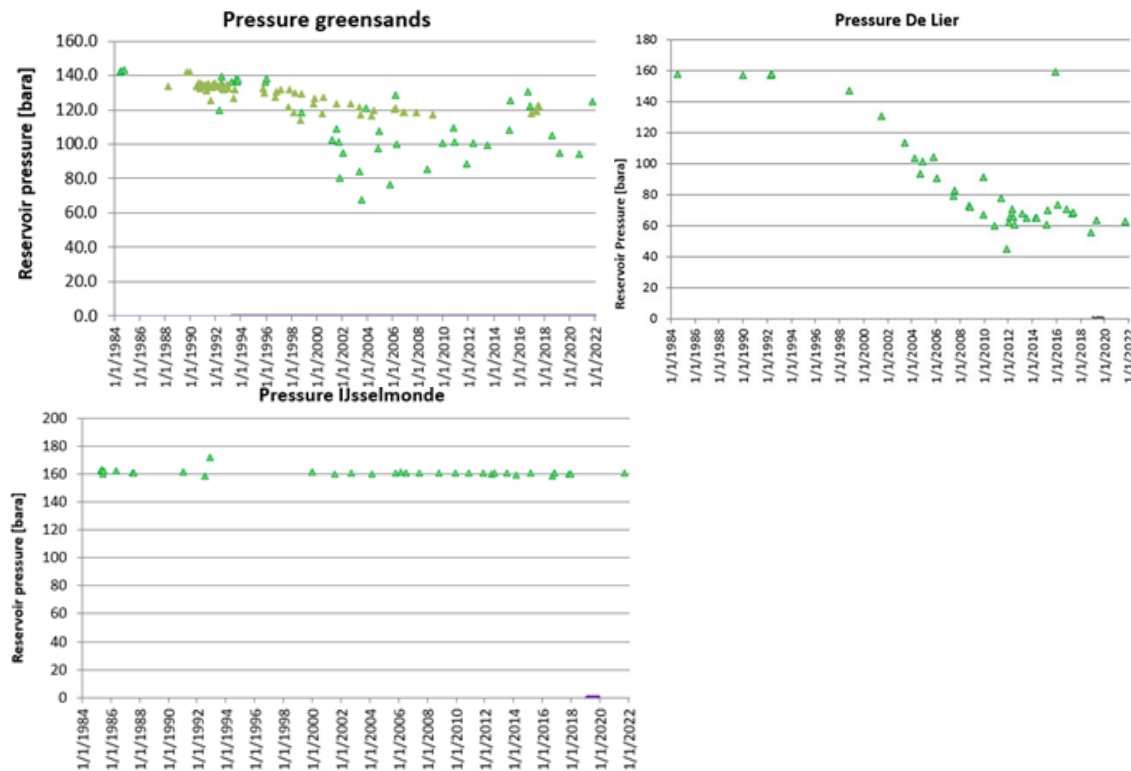


 NAM	Rotterdam Field Top Lower Greensand Reservoir (KNGLG_L1)				
	Nederlandse Aardolie Mij BV	Project: ARPR	Author: Land Asset	Date: Jun 2016	Draw. No.: EP201606208431001

Figuur 5: Top structuurkaart van het Greensands voorkomen met daarin de locaties van de injectieputten (in blauw) en de breuken. In de kaart is in lichtblauw ook de centrale breukzone weergegeven.

2. Voorkom dat de reservoirdruk te snel toeneemt

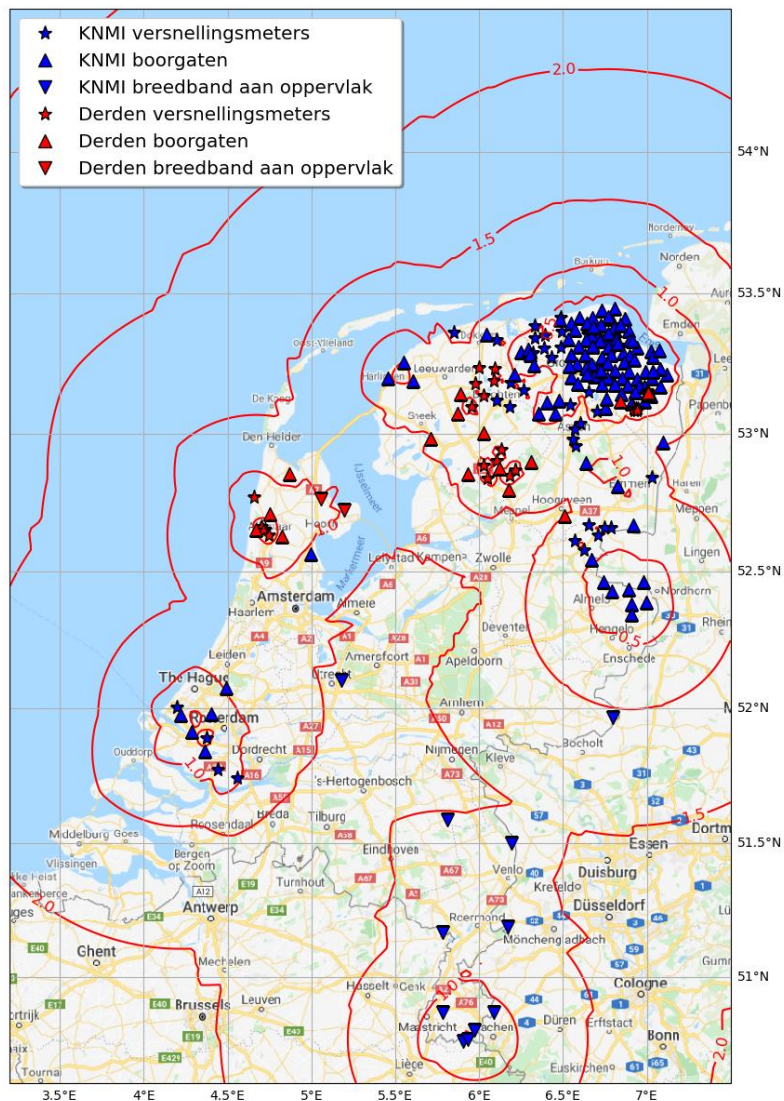
Aan criterium 2 van het 5-stappenplan wordt ook voldaan. Ieder jaar wordt in ieder voorkomen de reservoirdruk gemeten (Figuur 6). Als de druk significant sneller toeneemt dan verwacht of boven de initiële reservoir druk dreigt uit te komen, dan wordt de waterinjectie in het voorkomen aangepast. Zo is op basis van deze druk monitoring in 2017 besloten om de put RTD-17 voorlopig niet te gebruiken voor waterinjectie, omdat put RTD-14-S3 en RTD-14-S4 langere tijd niet konden produceren in verband met een te hoge hoeveelheid meegeproduceerd zand. De waterinjectieput staat weer aan, nu RTD-14-S3 en -S4 weer in gebruik zijn genomen. Daarnaast is een maximale injectiedruk vastgesteld in de waterinjectievergunning.



Figuur 6: Overzicht van de drukken in de voorkomens in het Rotterdam olieveld over de periode van waterinjectie.

3. Installeer een seismologisch netwerk

Aan criterium 3 is inmiddels voldaan. NAM en KNMI hebben recentelijk het aantal geofoons en versnellingsmeters sterk uitgebreid in Zuid-Holland. Dit heeft geresulteerd in een magnitude van compleetheit of locatiedrempel bij die boven het Rotterdam veld rond de $M=0,5$ ligt (zie Figuur 7). De magnitude van compleetheit (magnitude of completeness of MoC) is de laagste magnitude M_L waarvoor elke beving waargenomen kan worden, ongeacht positie in het reservoir.



Figuur 7: Overzicht van de stations en de bijbehorende locatiedrempel in Nederland in 2021 (KNMI-website update 15-10-2021).

4. Stel een protocol op waarin maatregelen zijn aangegeven als een seismische activiteit wordt gemeten

Aan criterium 4 wordt middels het seismisch risicobeheersplan "Kleine Velden" voldaan. Een 'verkeerslicht'-protocol wordt hierin uitgewerkt, waarin is aangegeven welke maatregelen zullen worden genomen als enige seismiciteit wordt waargenomen. De te nemen maatregel hangt af van de magnitude van de seismische activiteit. Het protocol voor waterinjectie volgt het protocol zoals dit is gedocumenteerd in het seismisch risicobeheersplan voor kleine gasvelden.

5. Wees voorbereid op te nemen maatregelen

Aan criterium 5 is middels het seismisch risicobeheersplan "Kleine Velden" voldaan. De te nemen maatregelen bij het overschrijden van magnitudes na gemeten seismische activiteit zijn daarin in het 'verkeerslicht'-protocol beschreven.

Mogelijk seismisch risico door afkoeling van de reservoirlaag en breuken

De initiële reservoirtemperatuur in de voorkomens in het Rotterdam veld ligt tussen de 68 °C en 59 °C. De minimale temperatuur van het reservoir in de nabijheid van de injectieput ligt dicht bij de temperatuur van het geïnjecteerde water. De injectiewatertemperatuur wordt periodiek gemeten en ligt tussen de 30 en 40 graden, afhankelijk van het seizoen. Temperatuurmetingen zijn verricht in RTD-12 en RTD-17, na insluiting van de injectieput. De uitkoeling in de directe nabijheid van de injectieputten ligt rond de 15 °C voor het Greensands voorkomen tot 29 °C voor het De Lier voorkomen. Deze uitkoeling is minder dan de uitkoeling in de geothermische projecten in Zuid-Holland waar nog nooit bevingen geobserveerd zijn. Ook liggen de injectieputten niet in de directe nabijheid van breuken waarmee de kans van mogelijke breukreactivatie nog verder wordt verlaagd, zie Tabel 1. Hierbij wordt de geschatte positie van het waterfront en temperatuurfront vermeld, op basis van gemiddelde parameters van het betreffende voorkomen waarin geïnjecteerd wordt. De afstand van de injectieput tot de grote centrale breuk in het veld staat vermeld, net als eventuele kleinere breuken in de buurt van de injectieput. Het temperatuurfront verplaatst zich langzamer door het gesteente, doordat het gesteente ook afkoelt. De warmtecapaciteit voor de zandlagen in deze voorkomens is 2560 KJ/m³/K.

Uit de afstanden tussen de fronten en breuken blijkt dat in RTD-17, RTD-6 en RTD-12AS een kleine breuk is doorsneden door het drukfront, zonder de observatie van bevingen. Het temperatuurfront is kleiner en heeft in geen enkel geval geleid tot afkoeling van gesteente bij een breuk.

Tabel 1: Overzicht van de injectie putten in het Rotterdam olievelde met de afstanden tot de dichtstbijzijnde breuken en de radii van het waterfront (drukfront) en temperatuurfront van het injectiewater.

Parameters	Injectieputten in het Rotterdam olievelde									
	IJsselmonde			De Lier		Greensands				
	RTD-9	RTD-12L	RTD-12AL	RTD-12S	RTD-12AS	RTD-1A	RTD-5	RTD-6	RTD-16B	RTD-17
Injectie temperatuur, °C	40	40	40	30	30	30	30	30	30	30
Gesteente temperatuur, °C	68	68	68	63	63	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5
Totale porositeit, %	24	24	24	20	20	22	22	22	22	22
Hoogte, m	140	140	140	95	95	50	50	50	50	50
NTG, fractie	0.75	0.75	0.75	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Connate water Saturatie	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Residuale olie saturatie	0	0	0	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Afstand tot kleine breuken	350	575	190	500	175	600		125	730	180
Afstand tot grote centrale RTD breuk	925	715	610	675	650	355	240	545	919	560
Radius van water front, m	317	8	48	84	244	181	204	220	693	323
Radius van temp front, m	177	4	27	24	76	55	62	67	211	98
Cum Water Injectie, Mln m3	6.4	0.0	0.1	0.1	0.8	0.2	0.3	0.3	3.3	1.0
Cum injectie per reservoir (Oct 2021), Mln m3	6.6			0.9		5.2				
Cum vloeistof productie (Oct 2021), Mln m3	13.7			5.5		6.2				

Evaluatie: Te verwachten gesteentegedrag en breukgedrag bij spanningsveranderingen

Uit de voorgaande paragrafen blijkt dat de spanningsveranderingen door druk- en temperatuurveranderingen beperkt zijn. Bij aardbevingen speelt ook de mogelijke cumulatieve spanningsopbouw in het gesteente een rol. Immers een aardbeving is een ontlading van opgebouwde spanning op de breuk. In Noord-Nederland wordt met name gas geproduceerd uit de Slochteren Zandsteen die zich kenmerkt als een sterke, goed gecementeerde zandsteen. Deze zandsteen kan veel spanning opbouwen voordat deze significant vervormt door plastisch gedrag. Dat geldt in mindere mate voor de zandstenen uit het Onder-Krijt.

Voor het Holland Greensands pakket geldt de volgende lithologische beschrijving⁶:

“Afwisseling van groengrijze, glauconietrijke, zeer fijn- tot fijnkorrelige, kleiige zandstenen. Bevat plaatselijk siltstenen met kalk- of siderietcement en olijfgrijze kleistenen. Het laagpakket wordt gekenmerkt door sterke bioturbatie.”

Voor het De Lier pakket geldt de volgende lithologische omschrijving:

“Afwisseling van dungelaagde, zeer fijn- tot fijnkorrelige, kleiige zandstenen, over het algemeen glauconiet- en ligniethoudend, en zandige kleistenen, vaak glauconiethoudend met schelpfragmenten en veel bioturbatie. Sideriet concreties komen veel voor.”

Voor het IJsselmonde pakket geldt de volgende lithologische omschrijving:

“Massieve zandsteen, lichtgrijs, zeer fijn- tot middengrofkorrelig, sporadisch tot grind, ligniethoudend, plaatselijk glauconiethoudend, plaatselijk met sideriet concreties, goed gelaagd. Vooral bovenin het laagpakket komen kalkgecementeerde lagen veelvuldig voor; schelpen en schelpfragmenten zijn lokaal aanwezig. Dunne inschakelingen van kleisteenlagen worden regelmatig aangetroffen. Vaak is er een 5-10 m dikke bruinkoolachtige kleisteenlaag aanwezig in dit laagpakket.”

De kleiige en zwakkere zandsteen zorgt ervoor dat opgebouwde spanningen makkelijker gerelaxeerd kunnen worden waardoor er minder spanning overblijft voor een mogelijke aardbeving. Tussen de zandstenen bevinden zich klei en mergellagen waardoor het aannemelijk is dat de breuken ook kleiig zijn en daarmee eerder plastisch (a-seismisch) dan bros (seismisch) vervormen.

⁶ [Holland Groenzand Laagpakket | DINOLoket](#)

Conclusie

In het Rotterdam olieveld vindt er naast productie ook waterinjectie plaats en ook deze activiteit zal leiden tot drukveranderingen en temperatuurveranderingen die mogelijk kunnen leiden tot spanningsveranderingen en aardbevingen. In de voorgaande notitie is kwalitatief geïnterpreteerd wat de kans is dat deze twee mechanismes kunnen leiden tot aardbevingen.

De conclusie is dat de kans op bevingen klein is op basis van de volgende observaties:

- Zuid-Holland is een gebied waar nog nooit aardbevingen zijn waargenomen terwijl er decennia activiteiten (gaswinning, waterinjectie en geothermie) in de ondergrond plaatsvinden die significante spanningsveranderingen veroorzaken. Het gebied lijkt seismisch minder gevoelig voor spanningsveranderingen dan bv Noord-Nederland.
- De scheurvorming die gepaard gaat met de injectie is beperkt en ligt ver van de bestaande breuken. Daardoor is de kans klein dat een scheur een breuk raakt. Daarmee is de kans ook klein dat de poriedruk in de breuk relatief toeneemt wat een aardbeving zou kunnen veroorzaken.
- De drukverschillen in het Rotterdam olieveld zijn beperkt dankzij de waterinjectie.
- De koeling door de het geïnjecteerde water is beperkt en is minder dan in geothermische projecten waar tot dusver ook geen bevingen zijn waargenomen.
- Het reservoirgesteente uit het Onder-Krijt in Rotterdam is te karakteriseren als een zwakke, kleiige zandsteen. In dergelijke gesteentes is het aannemelijk dat een groot deel van de geïnduceerde spanningen wordt gerelaxeerd via plastisch gedrag van het gesteente en breuk. Mogelijke breukreactie zal dus eerder geleidelijk en a-seismisch verlopen dan plotseling en seismisch.

Ondanks dat het risico klein is, is het belangrijk dat voor Rotterdam olie een helder seismisch risicomanagement geldt. Daarom is het Rotterdam olieveld toegevoegd aan het algemene seismisch risicobeheersplan⁷ van NAM dat is goedgekeurd door het Staatstoezicht op de Mijnen. Hierin worden de acties genoemd die NAM zal uitvoeren na een observatie van een beving met een bepaalde magnitude.

⁷ [nam-seismic-risk-for-small-fields-backgrounds-risk-interpretation-and-risk-management-plan-v2-1.pdf](#)